

Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels

Masterthesis
im Studiengang Umweltingenieurwissenschaften
Christoph Meyer

Fachgebiet Landmanagement
Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

landmanagement

Masterthesis

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science
im Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

Thema: Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels
Bearbeitungszeitraum: 06.05.2020 – 04.11.2020

Betreuerin: Kim Nobis, M.Sc.

Aufgabensteller: Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Institut für Geodäsie
Fachgebiet Landmanagement
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt



Lizenz: CC BY 4.0 International - Creative Commons, Namensnennung

Aufgabenstellung

Institut für Geodäsie
Fachgebiet Landmanagement
Prof. Dr.-Ing. H.-J. Linke

Fachbereich 13
Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Franziska-Braun-Straße 7
D-64287 Darmstadt

landmanagement



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Master-Thesis

Herr Christoph Meyer

Fachgebiet: Landmanagement

Thema: Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels

Water-resilient urban development in the context of climate change

Veranlassung: Wasser übernimmt in der Stadt vielfältige Funktionen. Es ist als Trinkwasser notwendiges Nahrungsmittel. Ebenso dient es der städtebaulichen Gestaltung, indem natürliche oder künstliche Oberflächengewässer in öffentliche Grünzüge und Grünanlagen eingebunden werden. In der Stadt nicht (mehr) verwendbares Wasser, wie Abwasser oder Niederschläge, werden, zumindest in Städten in Industrieländern, mittels großtechnischer Infrastruktursysteme (z.B. bestehend aus Abwasserkanalnetzen und Kläranlagen) außerhalb der Stadt dem Wasserkreislauf zugeführt. Die hierzu installierten Systeme, auch der Trinkwasserversorgung, sind dabei anhand aus der Historie bekannter Bedarfswerte innerhalb der letzten ca. 150 Jahren ausgelegt worden. Eine Anpassung an sich verändernde Bedarfe ist dabei nur schwer und mit erheblichem finanziellen Aufwand möglich.

Durch die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen (z.B. Starkregenereignisse, Hitze- und Dürreperioden) verändern sich die bei der Stadtentwicklung zu berücksichtigenden Wassermengen in allen vorstehend genannten Bereichen. So führen Starkregenereignisse zur Überlastung der Kanalsysteme und damit zu lokalen Überschwemmungen mit entsprechenden Schäden. Hitze- und Dürreperioden lassen z.B. den Trinkwasserbedarf ansteigen und erfordern einen zusätzlichen Bedarf an Bewässerungswasser. Grünflächen mit integrierten Oberflächengewässern führen zu lokalen Kühlungseffekten, können aber auch, bei entsprechender Ausrichtung und Dimensionierung, außerhalb der Stadt entstehende Kaltluftströme in die Städte lenken.

Um den Herausforderungen des Klimawandels bei der Stadtentwicklung zu begegnen, sind Konzepte und Maßnahmen zu entwickeln, mit denen die Auswirkungen des Klimawandels zumindest abgemindert werden. Solche Konzepte und Maßnahmen müssen auf verschiedenen Ebenen



(Gesamtstadt, Stadtteil, Quartier) koordiniert, entwickelt und umgesetzt werden.

Aufgabenstellung: Im Rahmen der Arbeit sollen aus bisher in der Wissenschaft und der Praxis vorliegenden Ansätzen und Erkenntnissen Konzepte und Maßnahmen zum zukünftigen Umgang mit Wasser in der Stadtentwicklung, z.B. in Form eines Leitfadens, abgeleitet werden.

Hierfür sollen zu Beginn die zu erwartenden Auswirkungen auf Städte, die sich durch den Klimawandel und die damit einhergehenden Veränderungen bzgl. diverser Wassermengen ergeben, vertieft dargestellt werden (eine Beschränkung auf bestimmte Stadttypen bzw. Stadtregionen kann vorgenommen werden).

Nachfolgend sind Maßnahmen mit deren Vor- und Nachteilen zu beschreiben, mit denen diesen Auswirkungen des Klimawandels in der Stadtentwicklung begegnet werden kann.

Für begründet ausgewählte Städte – mindestens drei – sind deren Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit dem Klimawandel hinsichtlich einer wasser-resilienten Stadtentwicklung zu analysieren und daraus Rückschlüsse für allgemeingültige Konzepte und Maßnahmen zu ziehen.

Neben Literatur- und Dokumentenanalysen können z.B. auch Experteninterviews zur Beantwortung der vorstehend genannten Forschungsfragen genutzt werden.

Abschließend ist eine zusammenfassende Darstellung der gewonnenen Erkenntnisse vorzunehmen, die es Städten erlaubt geeignete Rückschlüsse für eigene Konzepte und Maßnahmen zu ziehen.

Bemerkungen: Neben der schriftlichen Ausarbeitung der Arbeit (gedruckt in zweifacher Ausfertigung sowie zusätzlich in digitaler Form auf einem geeigneten Medium) sind im Rahmen eines 20-minütigen Vortrags mit anschließender Aussprache die wesentlichen Inhalte der Arbeit zu präsentieren.

Darmstadt, den 28. April 2020

(Prof. Dr.-Ing. H. J. Linke)
Aufgabensteller

(Kim Nobis, M.Sc.)
Betreuerin

Eidesstattliche Erklärung

Masterthesis von Herrn Christoph Meyer, B.Sc.

Erklärung zur Masterthesis gemäß § 23, Abs. 7 APB:

Hiermit versichere ich, Christoph Meyer, die vorliegende Masterthesis ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Mir ist bekannt, dass im Falle eines Plagiats (§38 Abs. 2 APB) ein Täuschungsversuch vorliegt, der dazu führt, dass die Arbeit mit 5,0 bewertet und damit ein Prüfungsversuch verbraucht wird. Abschlussarbeiten dürfen nur einmal wiederholt werden.

Darmstadt, den 03.11.2020



Unterschrift

Zusammenfassung

Der Klimawandel führt zu steigenden Temperaturen, veränderten Niederschlagsereignissen und zu vermehrten Extremwetterlagen. Darüber hinaus werden sich in Deutschland die Niederschläge in den Winter verschieben, die Sommer werden wärmer und trockener und die Anzahl an Starkregenfällen wird zunehmen. Die Folgen des Klimawandels werden in bestehenden (Wasser-)Infrastrukturen zu Wärme- und Hitzebelastungen sowie zu Überschwemmungen infolge von Starkregenfällen führen.

Um die Funktionsfähigkeit der Infrastrukturen langfristig zu erhalten, müssen diese an die neuen klimatischen Herausforderungen angepasst werden. Durch die Umsetzung von Maßnahmen kann die „Wasser-Resilienz“ von Infrastrukturen gesteigert werden. Wasser-resiliente Infrastrukturen garantieren eine gesicherte Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung, schützen vor wasserbezogenen Gefahren und nutzen Ökosystemdienstleistungen zur Kühlung des Mikroklimas. Wasser-resiliente Stadtstrukturen sind geeignet, die Auswirkungen von Klimawandelfolgen für die Stadtbevölkerung zu mindern.

Im Rahmen dieser Masterthesis wird das Konzept „Wasser-Resilienz“ vorgestellt und eine Arbeitshilfe zur Entwicklung wasser-resilienter Stadtstrukturen entworfen. Hierfür werden acht Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz vorgestellt. Der Großteil der Einzelmaßnahmen entlastet die Abwasserentsorgung und wirkt durch Verdunstungseffekte kühlend auf das Mikroklima. Die Einzelmaßnahme „Betriebswasser“ kann die Trinkwasserversorgungssysteme entlasten. In einer Best Practice-Analyse wurden Konzepte zur Klimaanpassung der Städte Berlin, Bremen und Karlsruhe hinsichtlich des Wasser-Resilienz-Konzepts analysiert. Das Berliner und Bremer Konzept erfüllen die Kriterien der Wasser-Resilienz. Zusammen mit Erkenntnissen aus Expertengesprächen wurde die zu erstellende Arbeitshilfe konzipiert.

Die Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“ stellt die Herausforderungen des Klimawandels und das Konzept „Wasser-Resilienz“ vor. Die Arbeitshilfe gibt Gelegenheit, das klimabedingte Risiko von Stadtstrukturen – hitze- und/oder starkregengefährdet – abzuschätzen und stellt geeignete Einzelmaßnahmen vor, die Wasser-Resilienz zu erhöhen. Des Weiteren werden Wege aufgezeigt, wie wasser-resiliente Einzelmaßnahmen in informelle und formale Planungsprozesse integriert werden kann. Die Arbeitshilfe richtet sich an Interessierte aus Stadt- und Landschaftsplanung. Sie ist ohne spezifischen Stadtbezug erstellt worden und kann von jeder interessierten Stadt als Blaupause genutzt werden. Durch die Integration von wasser-resilienten Maßnahmen werden Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung gestärkt, städtische Strukturen vor Überschwemmungen geschützt und Wärmebelastungen gemindert.

Schlagwörter: Wasser-Resilienz, Starkregen, Trockenheit, Arbeitshilfe, Klimaanpassung

Abstract

Climate change leads to rising temperatures, altered precipitation and the increased occurrence of extreme weather phenomena. Moreover, precipitation is going to shift into winter while summers are going to be hotter and dryer in Germany. The amount of heavy rains is going to increase. The consequences of climate change will induce flooding and heavy rains as well as temperature and heat stress for existing water infrastructures.

To guarantee long-term functionality of these infrastructures, they must be adapted to the upcoming climate challenges. The realization of measures can increase the resilience of bodies of water. Resilient water infrastructures ensure a secured drinking water supply and wastewater disposal. They protect cities from water-related hazards and utilize ecosystematic benefits to regulate microclimates. Water-resilient urban structures are suitable to decrease climate change consequences for urban populations.

This Master's thesis presents the concept of water resilience and constructs a tool to develop water-resilient urban structures. For this purpose, eight individual measures for increasing water resilience will be explained. Most of these measures relieve systems of wastewater disposal and benefit microclimates through evaporation processes. The individual measure "process water" can release pressure from drinking water supply. Concepts for climate adaption by the cities Berlin, Bremen and Karlsruhe were analyzed in a best practice analysis. The concepts developed in Berlin and Bremen fulfill criteria of water resilience. The study guide was constituted including the addition of expert interviews.

The study guide "Water-resilient urban development in the context of climate change" presents challenges of climate change and the concept of water resilience. It exhibits guidelines to assess climate-related risks of city structures in regard to their predisposition for heat and heavy rain threat and develops suitable measures to increase their water resilience. Furthermore, it is shown how individual measures of increasing water resilience can be integrated within informal and formal development processes. This study guide is aimed at people interested in town and country planning. It is developed without specific relations to case examples and utilizable as a blueprint for any city interested in it. By integrating measures for improved drinking water supply and wastewater disposal, cities can be protected from floodings and thermal stress can be reduced.

Keywords: water resilience, heavy rain, drought, study guide, climate adaption

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	vi
Abstract	vii
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xii
Abkürzungsverzeichnis	xiii
1. Einleitung	1
2. Hintergrund	2
2.1. Städtische Infrastrukturen und Siedlungswasserwirtschaft	2
2.1.1. Trinkwasserversorgung.....	3
2.1.2. Abwasserentsorgung und Entwässerungsinfrastruktur	4
2.2. Klimawandel	6
2.2.1. Temperaturentwicklung.....	6
2.2.2. Veränderungen von Niederschlagsereignissen.....	8
2.2.3. Auswirkungen in Deutschland.....	9
2.3. Auswirkungen des Klimawandels auf städtische Wasserinfrastrukturen	11
2.3.1. Temperaturerhöhung und Trockenheit	12
2.3.2. Starkregen und Sturzfluten.....	14
2.4. Grundlagen der Raumplanung in Deutschland	15
2.4.1. Flächennutzungsplan.....	17
2.4.2. Bebauungsplan	17
2.4.3. Stadtumbau und informelle Planungsinstrumente.....	19
3. Klimaanpassung durch wasser-resiliente Stadtentwicklung	20
3.1. Abgrenzung zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung.....	20
3.2. Merkmale wasser-resilienter Stadtentwicklung.....	21
3.3. Maßnahmen der Klimaanpassung und wasser-resilienter Stadtentwicklung.....	22

3.3.1.	<i>Versickerungsfähige Flächen</i>	23
3.3.2.	<i>Multifunktionale Rückhalteräume.....</i>	25
3.3.3.	<i>Entsiegelung und Nutzung wasserdurchlässiger Oberflächen.....</i>	26
3.3.4.	<i>Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen.....</i>	27
3.3.5.	<i>Straßenbegleitgrün und begrünte Gleisanlagen</i>	28
3.3.6.	<i>Gebäudebegrünung und Innenhofgestaltung</i>	29
3.3.7.	<i>Betriebswassernutzung</i>	31
3.3.8.	<i>Wasserflächen.....</i>	32
3.4.	<i>Zusammenfassung der Auswirkungen der vorgestellten Einzelmaßnahmen</i>	32
4.	Erkenntnisse aus städtischen Best-Practice-Beispielen	35
4.1.	<i>Methodik des Best Practice-Vergleichs</i>	35
4.2.	<i>Auswahl der betrachteten Fallbeispiele.....</i>	36
4.3.	<i>Berlin.....</i>	37
4.3.1.	<i>Charakterisierung und klimatische Herausforderungen Berlins</i>	37
4.3.2.	<i>Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt</i>	38
4.3.3.	<i>Bezug der Berliner Arbeitshilfe auf das Konzept der Wasser-Resilienz</i>	42
4.4.	<i>Freie Hansestadt Bremen</i>	43
4.4.1.	<i>Charakterisierung und klimatische Herausforderungen Bremens.....</i>	43
4.4.2.	<i>Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung</i>	44
4.4.3.	<i>Bezug des Bremer Merkblatts zum Konzept der Wasser-Resilienz.....</i>	47
4.5.	<i>Karlsruhe</i>	47
4.5.1.	<i>Charakterisierung und klimatische Herausforderungen Karlsruhes</i>	48
4.5.2.	<i>Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung „Hitze“</i>	48
4.5.3.	<i>Bezug des Karlsruher Rahmenplans auf das Konzept der Wasser-Resilienz.....</i>	53
5.	Erkenntnisse aus qualitativen Befragungen	54

5.1.	Methodik und Vorgehensweise bei Experteninterviews.....	54
5.2.	Auswahl und Inhalte der Expertengesprächen	54
5.2.1.	<i>Städtische Planungsbehörde Stadtentwässerung – Experte SPA</i>	56
5.2.2.	<i>Städtisches Referat Wasserwirtschaft, Trinkwasser, Abwasser – Experte AWW</i>	58
5.2.3.	<i>Trinkwasserverteilung – Expertin VTW</i>	59
5.2.4.	<i>Trinkwasserversorgung – Experte GTW</i>	60
5.2.5.	<i>Forschung zur klimaangepassten Stadtentwicklung – Experte BGI</i>	62
5.2.6.	<i>Immobilienwertermittlung – Experte IBW</i>	63
5.3.	Erkenntnisse der geführten Experteninterviews	65
6.	Diskussion der Erkenntnisse und Aufbau der Arbeitshilfe	67
7.	Fazit und Ausblick	80
8.	Literaturverzeichnis	81
Anhang I: Anschreiben für Experteninterviews		I
Anhang II: Einwilligungserklärung zur Teilnahme am Experteninterview		IV
Anhang III: Gesprächsleitfaden der Experteninterviews		V
Anhang IV: Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“		VII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale Temperaturerhöhungen nach Ergebnissen der RCP-Klimamodellen	7
Abbildung 2: Darstellung der Niederschlagszunahme in Abhängigkeit des RCP-Szenarios	9
Abbildung 3: Vergleich SRES- und RCP-Klimaszenarien in Bezug auf Strahlungsantrieb	10
Abbildung 4: Prognostizierte Temperaturentwicklung in Deutschland	10
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Jahresmitteltemperatur und Versiegelungsgrad	12
Abbildung 6: Oberflächentemperaturen an einem Sommertag	13
Abbildung 7: Vergleich eines natürlichen und urban beeinflussten Wasserkeislauf	15
Abbildung 8: Übersicht der kommunalen Planungsinstrumente	16
Abbildung 9: Eignung verschiedener Versickerungsmethoden	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erläuterung der repräsentativen Konzentrationspfade RCP	7
Tabelle 2: RCP-Szenarien zur Abschätzung der Temperaturveränderung	8
Tabelle 3: Abschätzender Vergleich der Auswirkungen bei 1,5 °C bzw. 2 °C Erderwärmung ...	8
Tabelle 4: Auszug aus Festsetzungsmöglichkeiten für klimawirksame Maßnahmen im FNP ..	17
Tabelle 5: Auszug aus Festsetzungsmöglichkeiten für klimawirksame Maßnahmen im B-Plan	18
Tabelle 6: Abflussbeiwerte ausgewählter Oberflächen	27
Tabelle 7: Überblick und Auswirkungen der vorgestellten Maßnahmen zur Klimaanpassung und wasser-resilienter Stadtentwicklung	33
Tabelle 8: Überblick der potenziellen Fallbeispiele	36
Tabelle 9: Prognostizierte Auswirkungen des Klimawandels in Berlin	38
Tabelle 10: Auszug aus den Auswirkungen der vorgestellten Maßnahmen der Berliner Arbeitshilfe.....	40
Tabelle 11: Vorgestellte Maßnahmen des Bremer Best Practice-Beispiels	45
Tabelle 12: Stadtstrukturtypen in Karlsruhe	50
Tabelle 13: Übersicht der geeigneten Maßnahmen in den Karlsruher Stadtstrukturtypen	52
Tabelle 14: Kategorien in der Inhaltsanalyse, die zur Auswertung der Expertengespräche verwendet werden	56
Tabelle 15: Zusammenfassende Darstellung der Klimawirkung aller Einzelmaßnahmen	69
Tabelle 16: Vergleichende Charakterisierung der Städte aus den Fallbeispielen	70
Tabelle 17: Gliederung der Konzepte aus den drei Fallbeispielen.....	71
Tabelle 18: Vergleich der vorgestellten Einzelmaßnahmen mit Maßnahmen aus den Fallbeispielen	73
Tabelle 19: Zusammenstellung der interviewten Experten.....	75

Abkürzungsverzeichnis

AbwAG	<i>Abwasserabgabengesetz</i>
AfU	<i>Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart</i>
ARUP	<i>Ingenieurbüro mit Hauptsitz in London</i>
BauGB	<i>Baugesetzbuch</i>
BBK	<i>Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe</i>
BBSR	<i>Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung</i>
BDEW	<i>Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.</i>
BMI	<i>Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat</i>
BMVBS	<i>Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung</i>
B-Plan	<i>Bebauungsplan</i>
bspw.	<i>beispielsweise</i>
BSU	<i>Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg</i>
BUE	<i>Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg</i>
Difu	<i>Deutsches Institut für Urbanistik</i>
DStGB	<i>Deutscher Städte- und Gemeindebund</i>
DWA	<i>Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall</i>
DWD	<i>Deutscher Wetterdienst, Deutscher Wetterdienst, Deutscher Wetterdienst</i>
FNP	<i>Flächennutzungsplan</i>
GG	<i>Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland</i>
HLNUG	<i>Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISB	<i>Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen</i>
Kap.	<i>Kapitel</i>

LAWA	<i>Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser</i>
LUBW	<i>Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg</i>
max.	<i>maximal</i>
Mio.	<i>Million(en)</i>
MVI BW	<i>Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg</i>
NVK	<i>Nachbarschaftsverband Karlsruhe</i>
RCP	<i>repräsentative Konzentrationspfad (en. Representative Concentration Path)</i>
ROG	<i>Raumordnungsgesetz</i>
SenSW	<i>Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen</i>
sog.	<i>sogenannten</i>
SRES	<i>Special Report on Emissions Scenarios</i>
StEB	<i>Stadtentwässerungsbetriebe Köln</i>
StPlA	<i>Stadtplanungsamt Karlsruhe</i>
SUBV	<i>Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen</i>
THG	<i>Treibhausgas</i>
TUM	<i>Technische Universität München</i>
u.a.	<i>unter anderem</i>
WHG	<i>Wasserhaushaltsgesetz</i>

1. Einleitung

Seit dem Beginn der Industriellen Revolution steigt der Ausstoß von klimaschädlichen Gasen durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Die Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Erdatmosphäre führt zu einer Veränderung des Erdklimas. Durch den sog. Klimawandel erhöht sich die durchschnittliche Erdtemperatur. Außerdem nehmen die Häufigkeiten und Intensitäten von Hitze- sowie Trockenperioden und Starkregenfällen zu. Der Meeresspiegel wird weltweit ansteigen und Wetterextreme werden allgemein zunehmen. In Städten werden die Folgen des Klimawandels zu Wärme- und Hitzebelastungen sowie Überschwemmungen infolge von Starkregenfällen führen.

Die Folgen des Klimawandels treffen in Deutschland auf bereits bestehende Stadtstrukturen, die maximal mit erheblichem finanziellem Aufwand an die neuen Klimasituation angepasst werden können. Aus diesem Grund werden in der Stadtentwicklung Konzepte und Überlegungen angestellt, wie sich bestehende Infrastrukturen an den Klimawandel und dessen Folgen anpassen können. Durch Anpassungsmaßnahmen sollen die Folgen und Auswirkungen von Wärme- und Hitzeperioden, wie die der Hitzesommern 2018 und 2019, gemindert werden. Städtische Überschwemmungen infolge von Starkregen, wie bspw. 2014 in Münster oder 2017 in Berlin, sollen verhindert werden.

Ein Konzept zur Anpassung von städtischen Infrastrukturen ist die Erhöhung der „Wasser-Resilienz“ in der Stadt. Im Rahmen dieser Masterthesis soll eine Arbeitshilfe „Wasser-Resilienz in der Stadtplanung im Kontext des Klimawandels“ erstellt werden. Hierfür werden in Kap. 2 Hintergrundinformationen zu städtischen (Wasser-)Infrastrukturen, dem Klimawandel und dessen Auswirkungen sowie zu den Grundlagen der Raumplanung in Deutschland vorgestellt. Anschließend folgen in Kap. 3 die Definition des Konzepts „Wasser-Resilienz“. Des Weiteren werden acht Einzelmaßnahmen vorgestellt, die die Wasser-Resilienz von städtischen Strukturen erhöhen. In Kap. 4 werden drei Konzepte zur Klimaanpassung der Großstädte Berlin, Bremen und Karlsruhe betrachtet und hinsichtlich ihrer Auswirkungen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz analysiert. Nach den theoretischen Ausarbeitungen werden sechs Experteninterviews vorgestellt, womit eine praktische Einschätzung auf das Konzept und die Einzelmaßnahmen in die Masterthesis einfließt (Kap. 5). In der Diskussion (Kap. 6) wird der Aufbau und Inhalt der zu erstellenden Arbeitshilfe hergeleitet. Die Arbeitshilfe „Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“ ist das Ergebnis dieser Masterthesis. Sie ist in Anhang IV abgedruckt und kann unabhängig von dieser Masterthesis verwendet werden.

2. Hintergrund

Die für diese Ausarbeitung notwendigen fachlichen Hintergründe werden in einer Literaturrecherche erarbeitet. In dieser werden Grundlagen zu städtischen Wasserinfrastrukturen, dem Klimawandel und dessen Auswirkungen in Städten sowie zu Planungsorganen und -prozessen in Deutschland gegeben.

2.1. Städtische Infrastrukturen und Siedlungswasserwirtschaft

Der Begriff „Infrastrukturen“ leitet sich vom lateinischen Wort „infra“ für „unten, unterhalb“ ab. Es bezeichnet Grundvoraussetzungen, die das Zusammenleben einer Gesellschaft ermöglichen. Infrastrukturen können sowohl personeller, materieller oder institutioneller Art sein. Im Normalfall sind sie unsichtbar und für die meisten Menschen selbstverständlich. Infrastrukturen sind funktionale Voraussetzungen für die Entwicklung von Siedlungen und Städten sowie Bedingung für wirtschaftliche Entwicklungen. (Libbe 2015)

Anfang und Mitte des 20. Jahrhunderts waren zentrale Anlagen das erstrebenswerte Ziel der Stadt- und Infrastrukturplanung. Klassischerweise wurden Infrastrukturen anhand ihrer technischen Eigenschaften geplant und dimensioniert. Generell besitzen Infrastrukturen technische und gesellschaftliche Eigenschaften. Zu technischen Eigenschaften von Infrastrukturen zählen der Skaleneffekt – große, zentrale Anlagen sind günstiger zu betreiben als mehrere kleine, dezentrale –, ein ressourcenaufwändiger Bau und eine lange Lebensdauer. Als Teil der kommunalen Daseinsvorsorge haben Infrastrukturen auch gesellschaftliche Eigenschaften. Als Fundament einer funktionierenden Gesellschaft und Wirtschaft müssen sie einen gleichberechtigten Zugang, eine angemessene Qualität zu einem akzeptablen Preis vorweisen und sind politischer Steuerung und Kontrolle unterworfen. (BBSR 2015; Libbe 2015; Matern 2017)

Generell sind Infrastrukturen der Siedlungswasserwirtschaft Teil der öffentlichen Daseinsvorsorge und Grundvoraussetzung für das Funktionieren einer modernen Gesellschaft, von wirtschaftlichen Aktivitäten und für die Gesundheit urbaner Strukturen. Melosi (2008) bezeichnet die Daseinsvorsorge als Grundaufgabe städtischer Institutionen. Insbesondere die Infrastrukturen der Wasserwirtschaft seien die wichtigste Grundaufgabe städtischer Infrastrukturen. Der Begriff „Wasserwirtschaft“ umfasst alle Aufgaben und Dienstleistungen von Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung. Im Detail lauten die Aufgaben der Wasserwirtschaft die Trinkwasserbereitstellung, Abwasserbehandlung, Gewässerschutz und Schutz der Bevölkerung und Infrastrukturen vor Schäden insbesondere infolge von Überschwemmungen. (Grünewald 2015)

Hauptaufgabe der Wasserwirtschaft ist, die Wasserver- und -entsorgung zu jeder Zeit und an jedem Ort im Einzugsgebiet sicherzustellen. Hierfür müssen zeitliche und regionale Unterschiede bei der Wasserverfügbarkeit ausgeglichen werden. Europa und Deutschland liegen hierbei prinzipiell in einer Region, in der ausreichende Wasserressourcen vorhanden sind. Lokal kann es in Deutschland zu negativen Wasserbilanzen kommen, wenn der Wasserverbrauch nicht durch das lokale Wasserdargebot gedeckt ist. Im Hinblick auf die Trinkwasserversorgung

heißt das, dass einige Regionen Deutschlands nicht oder nur schwer in der Lage sind, ihren Wasserbedarf gesichert und ganzjährig aus eigenen Quellen zu decken. Durch Fernversorgungsleitungen und Redundanzen im Trinkwassernetz werden diese Risiken umgangen. (Karger/Hoffmann 2013; Stiefel 2014; Zilch et al. 2013)

Infrastrukturen der Wasserwirtschaft sind kapitalintensiv und ein milliardenschweres Anlagevermögen, der eine rein rationale, kosten-nutzen-basierte Dimensionierung zugrunde liegt. Ein Großteil der Infrastrukturanlagen der Wasserwirtschaft liegt unterirdisch verborgen oder außerhalb von Städten und Ortschaften. Ins Bewusstsein der Bevölkerung treten Wasserinfrastrukturen vor allem beim Versagen, wie urbanen Überschwemmungen oder dem Ausfall der Trinkwasserversorgung. (DStGB/Difu 2016; Graaf/Brugge 2010; Müller et al. 2017)

2.1.1. Trinkwasserversorgung

Eine gesicherte Trinkwasserversorgung ist Voraussetzung für gesundes Leben und Wirtschaften in Gesellschaften. Wasser ist sowohl als Lebensmittel, im Haushalt als auch in Produktionslinien unersetzlich. Die Trinkwasserversorgung muss eine hohe Versorgungssicherheit sowie eine hohe Wasserqualität, Nachhaltigkeit und Kundenservice zu einem angemessenen Preis garantieren. (Baur et al. 2019; Melosi 2008)

In Deutschland ist die Trinkwasserversorgung Teil der Daseinsvorsorge und im Verantwortungsbereich der Kommunen angesiedelt (Art. 28 Abs. II GG). Die Trinkwasserversorgung ist als „Versorgung der Bevölkerung und anderer Nutzer mit Trinkwasser in einem räumlich abgegrenzten Gebiet aus leitungsgebundenen Anlagen einschließlich des dazugehörigen Leitungsnetzes bis zum Punkt des Überganges zur Trinkwasser-Installation“ definiert (DIN 2000:2017-02: 5).

Trinkwasser wird von der Bevölkerung, Gewerbe- und Industriebetrieben und zur Bewässerung landwirtschaftlicher, privater sowie öffentlicher Flächen genutzt. Des Weiteren muss eine ausreichende Versorgung für öffentliche Zwecke, beispielsweise Krankenhäusern, Schulen, Löschwasser, bereitgestellt werden. Dieser Wasserbedarf muss nach dem deutschen Wasserhaushaltsgesetz (WHG) aus dem lokalen Wasserdargebot gedeckt werden. Der Wasserbedarf ist von Siedlungsstrukturen und örtlichen Gegebenheiten wie bspw. Temperatur und Jahreszeit abhängig. Der Wasserversorger stellt den Wasserbedarf zu jeder Zeit, in ausreichender Menge und Druck sicher. Nachteile für den natürlichen Wasserhaushalt und Wasserkreislauf infolge der Trinkwasserversorgung sind auszuschließen bzw. auszugleichen. (DIN 2000:2017-02; Grünwald 2015; Urban/Zimmermann 2015)

Die Trinkwasserversorgung gliedert sich in fünf Bereiche auf: Wasserfassung, Wasseraufbereitung, Wasserspeicherung, Wasserverteilung und Hausinstallationen. Nach DIN EN 805:2000-03 sind die zugehörigen Infrastrukturen leitungsgebunden, oftmals zentralisiert und bestehen aus Rohrleitungen, Speicherbehältern, Förder- und weiteren Anlagen. Die

Anlagenbestandteile müssen auf Spitzenlasten ausgelegt sein. Leitungskapazitäten sind auf einen stündlichen Spitzendurchfluss zu dimensionieren, Speichieranlagen auf den Tagesspitzendurchfluss. (Karger/Hoffmann 2013; Urban/Zimmermann 2015)

Für die Dimensionierung der Wasserversorgungsinfrastrukturen ist der Wasserbedarf des zu versorgenden Gebiets entscheidend. Der Wasserbedarf ist nicht konstant gleichmäßig über das Jahr verteilt, sondern unterliegt Schwankungen. Insbesondere in den Sommermonaten steigt der Wasserbedarf bei trockener Witterung an, da vermehrt Flächen bewässert werden müssen. Der Anstieg der Wassernachfrage kann hierbei abrupt erfolgen, wenn insbesondere bei privaten Nutzern gesammeltes Niederschlagswasser zur Bewässerung nicht mehr zur Verfügung steht. (Baur et al. 2019; Koch et al. 2017)

Anlagenteile von Wasserinfrastrukturen haben mit durchschnittlich 40 bis 60 Jahren eine hohe Lebens- und Nutzungsdauer. Über die gesamte Nutzungsdauer müssen in der Wasserversorgung und insbesondere bei der Wasserverteilung Materialkorrosion und Stagnation zu jeder Zeit verhindert werden. „Stagnation“ bezeichnet den Stillstand bzw. sehr langsame Fließgeschwindigkeiten des Wassers in Leitungen. Stagnationen führen zu Bakterienwachstum und steigenden Konzentrationen von gelösten und suspendierten Stoffen im Wasser, die die Wasserqualität mindern. Um Stagnationen zu verhindern, müssen Anlagenmaterialien, die vorherrschende Wasserbeschaffenheit sowie die Wassertemperatur in der Leitung berücksichtigt werden. Die langfristige Verhinderung von Stagnation in den Leitungen ist während der Planung herausfordernd, da die zukünftige Trinkwassernachfrage prognostiziert werden muss. (DIN EN 1717:2011-08: 10; Karger/Hoffmann 2013; Urban/Zimmermann 2015)

2.1.2. Abwasserentsorgung und Entwässerungsinfrastruktur

Die Abwasserbeseitigung ist in Deutschland auch Teil der kommunalen Daseinsvorsorge. Aus hygienischer Sicht begründet sich die Notwendigkeit der Abwasserbeseitigung in der Seuchenvermeidung und der Möglichkeit der Wasserwiederverwendung nach einer Hygienisierung. Eine Abwasserbeseitigung garantiert nach dem Stand der Technik die Bewahrung aquatischer Ökosysteme, minimiert die Gewässerbelastung und ist damit ein wichtiger Teil des Gewässerschutzes. Beim Niederschlagsmanagement bestehen die Aufgaben aus dem Überflutungsschutz und damit der Sicherung von Leben und Wertgütern. (Barjenbruch 2015; Melosi 2008)

Abwasser setzt sich nach §2 Abs. 1 AbwAG und § 54 WHG aus Schmutz- und Niederschlagswasser zusammen. Schmutzwasser ist vor allem durch häuslichen, gewerblichen oder sonstigen Gebrauch verunreinigtes Wasser. Niederschlagswasser ist die auf bebauten und befestigten Flächen gesammelte Wassermenge infolge von Niederschlägen. Die Abwasserbeseitigung besteht aus mehreren Elementen: Sammlung, Fortleitung, Behandlung, Einleitung, Versickerung, Verregnung und Verrieselung.

In Bezug auf § 55 Abs. 2 WHG soll anfallendes Niederschlagswasser ortsnahe versickert oder ohne Vermischung mit Schutzwasser in die Kanalisation gegeben werden. Mehrheitlich erfolgt

die Ableitung des Niederschlagswassers in Städten zusammen mit häuslichem Schmutzwasser im sog. Mischsystem. Die Mischkanalisation mit großen zentralisierten grauen Infrastrukturen galt in der Vergangenheit als Status-Quo der urbanen Entwässerung und ist deshalb in vielen Bestandsgebieten vorzufinden. Bei neuerschlossenen Quartieren ist mittlerweile das Trennsystem Standard. Dieses basiert auf zwei parallelen Abwasserkanälen: Im Schmutzwasserkanal wird häusliches Schwarzwasser und Grauwasser¹ gesammelt. Niederschlagswasser wird über einen zweiten Kanal abgeleitet. Die Nachteile des existierenden Mischverfahrens liegt darin, dass diese maßgeblich nach den zu entwässernden Niederschlagsmengen zu dimensionieren sind, da die Niederschlagsmenge im Starkregenfall die Schmutzwassermenge um mehr als das 100-fache übersteigen kann. (Barjenbruch 2015)

Die abzuführende Niederschlagsmenge ist das Resultat der Abflussbildung und -konzentration in einem betrachteten Gebiet. Abflussbildung bezeichnet den sich bildenden Oberflächenabfluss infolge eines Niederschlags. Dieser ist von der Infiltrationskapazität des Bodens, Geländeneigung, Bodenart und weiteren Faktoren abhängig. Der Oberflächenabfluss verschiedener Flächen konzentriert sich zu der Menge des abzuführenden Niederschlagswassers. In Abhängigkeit vom Bildungsort ist es behandlungs- oder nicht-behandlungsbedürftig. Nicht-behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser darf nicht zusammen mit behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser, das bspw. auf Industrieböden und Verkehrsflächen entsteht, abgeführt werden. Nicht-behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser entsteht bspw. auf Wohngebäudedächern und kann direkt versickert, für Betriebswasserzwecke genutzt werden oder abgeleitet wird. Bei der Entwässerung ist sicherzustellen, dass das Niederschlagswasser schadlos in Gewässer abgeführt wird bzw. zur Vermeidung einer Gewässerüberlastung ortsnahe bei der Akkumulation zurückgehalten wird. (§§ 6, 55 WHG, Barjenbruch 2015)

Entwässerungssysteme sollen Überschwemmungen vermeiden. Überflutungen können Resultat lokaler und plötzlicher Sturzfluten sein, aus einem Flusshochwasser resultieren oder aus Abwassersystemen entwichenes Schmutz- oder Niederschlagswasser sein. Zum Schutz vor Todesfällen, Umweltschäden sowie der Gefährdung und Behinderung wirtschaftlicher Aktivitäten ist ein Schutz vor Überschwemmungen sicherzustellen. Da Überschwemmungen natürliche Phänomene sind, lassen sie sich nicht verhindern, aber in ihrer Schadensauswirkung abmildern. Flächenversiegelungen sowie die Verringerung natürlicher Retentionsfähigkeiten von Böden verstärken Auswirkungen von Überschwemmungen. Aus diesem Grund soll anfallendes Niederschlagswasser am Akkumulationsort durch Retentions- und Speichermaßnahmen oder Entsiegelungen zur Stärkung der natürlichen Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens zurückgehalten werden. (Bronstert et al. 2017, RL 2007/60/EG, § 78 WHG)

¹ „Schwarzwasser“ ist fäkalien- bzw. urinbelastetes Mischwasser aus Toiletten. Als „Grauwasser“ wird fäkalienloses, häusliches Abwasser bspw. aus Dusche, Badewanne, Handwaschbecken bezeichnet. (DWA-A 272: 8)

In der Praxis ist die Verhinderung jeglicher Überschwemmungen nicht mit absoluter Sicherheit zu garantieren. Überschwemmungsvorsorge muss nicht immer baulicher Art sein, sondern resultiert aus Kombinationseffekten der Flächen- und Raumvorsorge, dem natürlichen und technischen Wasserrückhalt, der Bau- und Risikovorsorge bspw. durch eine Versicherung. (LAWA 2008; Melosi 2008)

2.2. Klimawandel

Mit Beginn der Industriellen Revolution stiegen die Nutzung von fossilen Energieträgern und die Emittierung von sog. Treibhausgasen (THG) an. Durch die Erhöhung der Konzentrationen von bspw. Kohlenstoffdioxid, Methan und Stickoxiden verändern sich die klimatischen Bedingungen auf der Erde. Als „Klimawandel“ wird die relative Erwärmung des Klimas zum präindustriellen Zeitalter bezeichnet. (IPCC 2014, 2019)

2.2.1. Temperaturentwicklung

Die Erwärmung des Erdklimas ist bereits jetzt ersichtlich: Zwischen 2006 und 2015 war es 0,87 °C wärmer als in der Periode 1850 – 1900 (IPCC 2019: 35). Die Auswirkungen auf die lokalen Temperaturen sind sehr unterschiedlich, da klimatische Einflüsse u.a. durch die Verteilung der Land- und Wassermassen, Gebirgszüge sowie Luft- und Meeresströmungen unterschiedliche Auswirkungen haben. Der beobachtete Temperaturanstieg war und wird auch zukünftig natürlichen Schwankungen unterworfen sein. Rückwirkend betrachtet konnten Temperaturveränderungen bereits auf globaler, kontinentaler und regionaler Ebene beobachtet werden. Seit 1950 ist die Anzahl warmer Tage und Nächte gestiegen, die Anzahl kalter Tage und Nächte ist gesunken. In Deutschland sank in der Periode 1946-1999 die durchschnittliche Anzahl der Frosttage um 9 Tage, die Anzahl Sommertage stiegen um 4 Tage. Außerdem wurden in Relation zu Wetteraufzeichnungen ein überproportionaler Anstieg an Hitzewellen in großen Teilen Europas und auf der Welt festgestellt. (Deutschländer/Mächel 2017; Hauck et al. 2019; IPCC 2019)

Die weitere Entwicklung der globalen Erwärmung wird in verschiedenen Klimamodellen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) prognostiziert. Die Klimamodelle unterscheiden sich in vier sog. repräsentative Konzentrationspfade (RCP, en. Representative Concentration Pathways)), die in Tabelle 1 erläutert werden. Die RCP-Szenarien unterscheiden sich in der Zunahme des Strahlungsantriebs der Erde. Als Strahlungsantrieb (Einheit: W/m²) wird die Veränderung der Absorption von Sonnenstrahlen in der Erdatmosphäre bezeichnet, die die erhöhte THG-Konzentration verursacht. (IPCC 2013; Schmidt et al. 2017; van Vuuren et al. 2011)

Tabelle 1: Erläuterung der repräsentativen Konzentrationspfade RCP (nach van Vuuren et al. 2011: 12)

Szenario	Definition
RCP2.6	maximale Erhöhung des Strahlungsantriebs bis ca. 3 W/m ² vor 2100, danach Absinken auf 2,6 W/m ² (2100)
RCP4.5	maximale Erhöhung des Strahlungsantriebs bis 4,5 W/m ² bis 2100 mit anschließender Stabilisierung
RCP6	maximale Erhöhung des Strahlungsantriebs bis 6 W/m ² bis 2100 mit anschließender Stabilisierung
RCP8.5	Erhöhung des Strahlungsantriebs bis 8,5 W/m ² bis 2100

Für die Zukunft prognostiziert das IPCC steigende Durchschnittstemperaturen infolge des Klimawandels. Dabei steigt die weltweite Durchschnittstemperatur in allen Klimamodellen an, lediglich die Größe der Temperaturdifferenz zum Referenzzeitraum 1850-1900 ist vom gewählten Szenario abhängig, wie Abbildung 1 und Tabelle 2 zeigen.

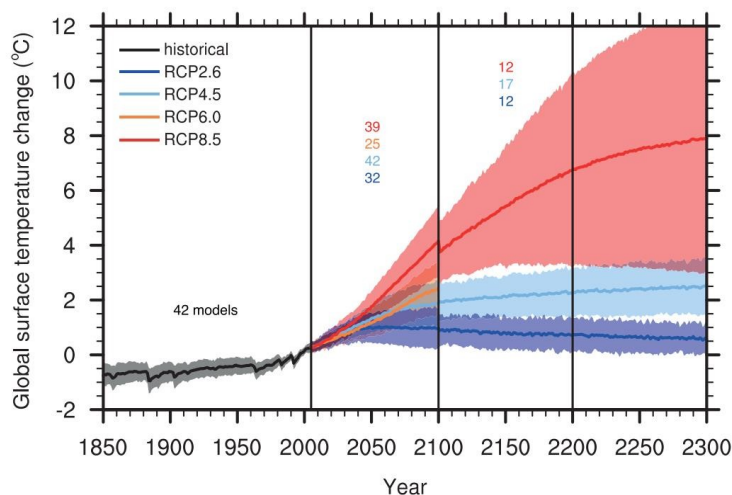


Abbildung 1: Globale Temperaturerhöhungen nach Ergebnissen der RCP-Klimamodellen (IPCC 2013: 1054)

Grundsätzlich wird deutlich, dass eine globale Temperaturerhöhung nicht mehr aufzuhalten ist. In Abhängigkeit vom gewählten Klimaszenario ist die Höhe der prognostizierten Temperaturerhöhung unterschiedlich. Insb. Tabelle 2 verdeutlicht, dass unabhängig vom gewählten Szenario eine Temperaturerhöhung um mindestens 1,0 °C unausweichlich erscheint. Eine Erhöhung der Temperatur um 1,5 °C ist wahrscheinlich.

Tabelle 2: RCP-Szenarien zur Abschätzung der Temperaturveränderung (nach IPCC 2013: 1056)

Szenario	mittlere Temperaturänderung ΔT 2081-2100	Eintrittswahrscheinlichkeit $\Delta T >$			
		+1,0 °C	+1,5 °C	+2,0 °C	+3,0 °C
RCP2.6	1,6 \pm 0,4	94 %	56 %	22 %	0 %
RCP4.5	2,4 \pm 0,5	100 %	100 %	79 %	12 %
RCP6.0	2,8 \pm 0,5	100 %	100 %	100 %	36 %
RCP8.5	4,3 \pm 0,7	100 %	100 %	100 %	100 %

Allgemein werden durch den Klimawandel die Anzahl kalter Frosttage sinken, die Anzahl heißer Tage und tropischer Nächte steigen. Die Vegetationsperiode verlängert sich durch den Temperaturanstieg und den Rückgang kalter Tage. Die Anzahl an heißen Tagen, tropischen Nächten sowie extremen Niederschlagsereignisse und Trockenperioden wird zunehmen. Darüber hinaus bedeutet eine global durchschnittliche Erderwärmung um 1,5 °C – wie sie im Pariser Abkommen anvisiert wurde –, einen jahreszeitlichen Temperaturanstieg von bis zu 3°C. (Cardona et al. 2012; IPCC 2013, 2019)

Die genannten Effekte verstärken sich in Abhängigkeit von der Erhöhung der Durchschnittstemperatur: Ab einer globalen Temperaturerhöhung von 0,7-1,3 °C wird ein moderat erhöhtes Auftreten von Extremwetterereignissen erwartet. Eine Temperaturerhöhung ab 1,4 °C verursacht schwere und weitgreifende Auswirkungen, ab 1,5 °C wird ein Anstieg hitzebedingter Sterblichkeit erwartet. Eine Reduzierung der Temperaturerhöhung ist mit einer Verringerung von THG-Emissionen möglich, wenngleich die in naher Zukunft feststellbaren Klimaeffekte die Konsequenz aus bisher emittierten Emissionen ist. Die Reduktion des THG-Ausstoßes sind dennoch lohend, wie Tabelle 3 zeigt. Im Allgemeinen sind die Auswirkungen bei einer globalen Temperaturerhöhung von 1,5 °C geringer als die einer 2,0 °C-Erhöhung. Die Folgen einer 2,0 °C-Erhöhung sind im Vergleich zu denen der 1,5 °C-Erhöhung mindestens um 50 % höher, manchmal übertreffen sie sie um das Doppelte. (Hauck et al. 2019; IPCC 2013, 2019: 11)

Tabelle 3: Abschätzender Vergleich der Auswirkungen bei 1,5 °C bzw. 2 °C Erderwärmung (nach IPCC 2019: 189)

Parameteränderung	+ 1,5 °C	+ 2,0 °C
Maximaltemperatur	+ 1,5-2,0 °C	+ 2,0-3,0 °C
Minimaltemperatur	+ 3,0-4,0 °C	+ 6,0-8,0 °C
Extremniederschlag (durchschnittlicher 5 Tagesregen)	+ 5-10 %	+ 10-15 %

2.2.2. Veränderungen von Niederschlagsereignissen

Durch die Erderwärmung wird auch der globale Gesamtniederschlag zunehmen. Die zunehmende Lufttemperatur erhöht die Verdunstung von Wasser in der Atmosphäre. Nach Bronstert et al. (2017: 99) nimmt der Gesamtniederschlag um ca. 3 % pro 1 °C-Erderwärmung zu und ist

vor allem vom Wärmefluss in den Luftmassen abhängig. Dies lässt sich mit den RCP-Klimamodellen bestätigen, die eine Zunahme der Niederschläge in Abhängigkeit von der Temperaturerhöhung darstellen. Mit steigenden globalen Temperaturen steigt die jährliche Niederschlagsmenge an. Bei der Zunahme der durchschnittlichen Temperatur steigt die Kapazität der Luft, Wasserdampf aufzunehmen, exponentiell an. Die Zunahme der Niederschlagssumme zeigt sich unabhängig vom RCP-Szenario, wie in Abbildung 2 ersichtlich ist.

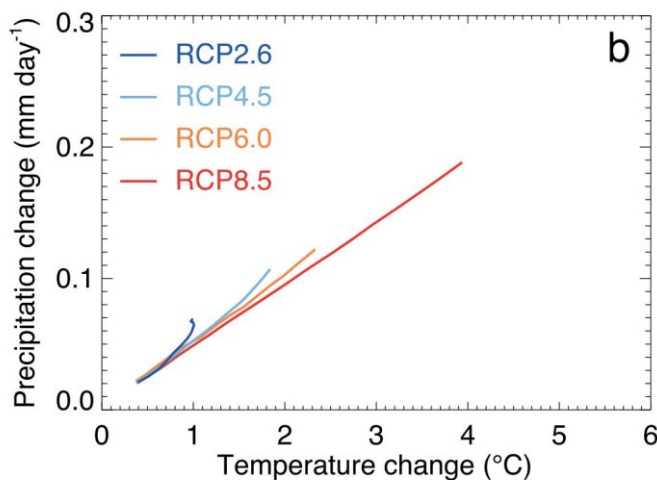


Abbildung 2: Darstellung der Niederschlagszunahme in Abhängigkeit des RCP-Szenarios (IPCC 2013: 1056)

Mit der Erhöhung der Niederschlagsmenge bewirkt das veränderte Klima einen Trend zu niederschlagsträchtigen und konvektionsrelevanten Wetterlagen. Hierdurch ändern sich die Häufigkeit und Intensitäten der einzelnen Niederschlagsereignisse. Niederschlagsereignisse werden intensiver und seltener. Die Anzahl an Niederschlagsereignissen, die über mehrere Tage gehen, sinken, die Wahrscheinlichkeit von Stark- und Intensivniederschlägen nimmt zu. (IPCC 2019; Kunz et al. 2017)

2.2.3. Auswirkungen in Deutschland

Vor der Verwendung von RCP-Szenarien als Grundlage für Klimamodelle war die Verwendung von SRES-Modellen (en. Special Report on Emissions Scenarios) Standard. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) benutzt das SRES-Modell weiterhin als Grundlage für den Klimaatlas, der Prognosen über Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland darstellt. Grundlage für die Klimamodelle des DWD ist das Szenario A1B, das am ehesten mit dem RCP6.0-Szenario vergleichbar ist. Direkt sind beide Szenariogruppen nicht übertrag- und vergleichbar. Abbildung 3 zeigt, dass die Unterschiede vom A1B- zum RCP6.0-Szenario gering sind und daher am ehesten vergleichbar sind. (Jaag/Schnyder 2019: 57; LUBW 2013; Schmidt et al. 2017)

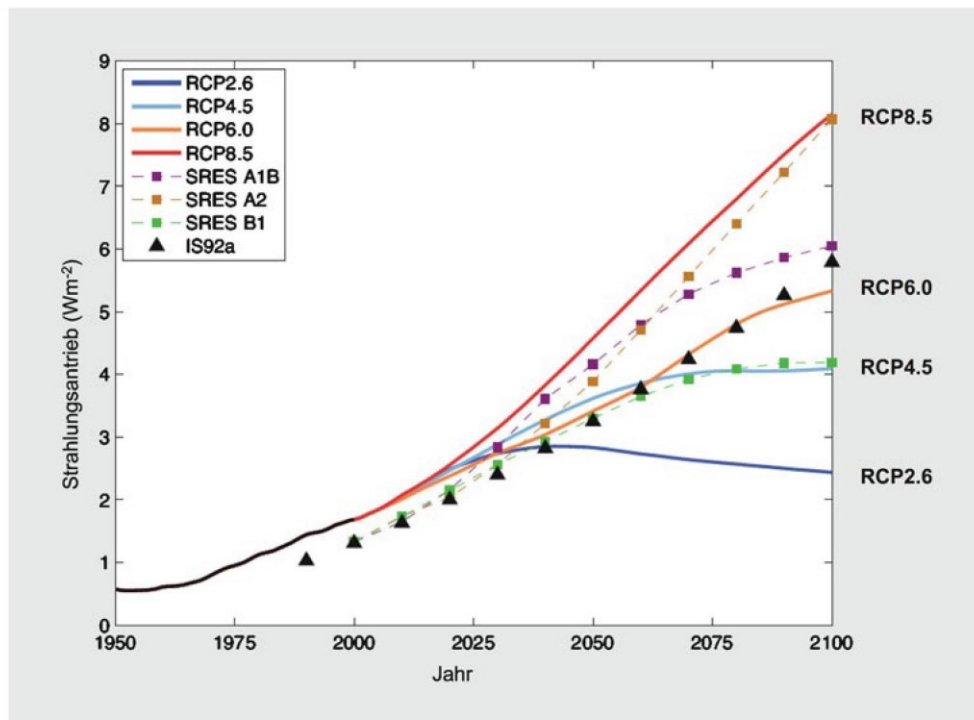


Abbildung 3: Vergleich SRES- und RCP-Klimaszenarien in Bezug auf Strahlungsantrieb (Schmidt et al. 2017: 11)

Analog zu den weltweiten Temperaturerhöhungen zeigen auch alle Klimamodelle des DWD eine durchschnittliche Temperaturerhöhung für Deutschland an. Abbildung 4 stellt die Ergebnisse der einzelnen Simulationen des DWD dar.

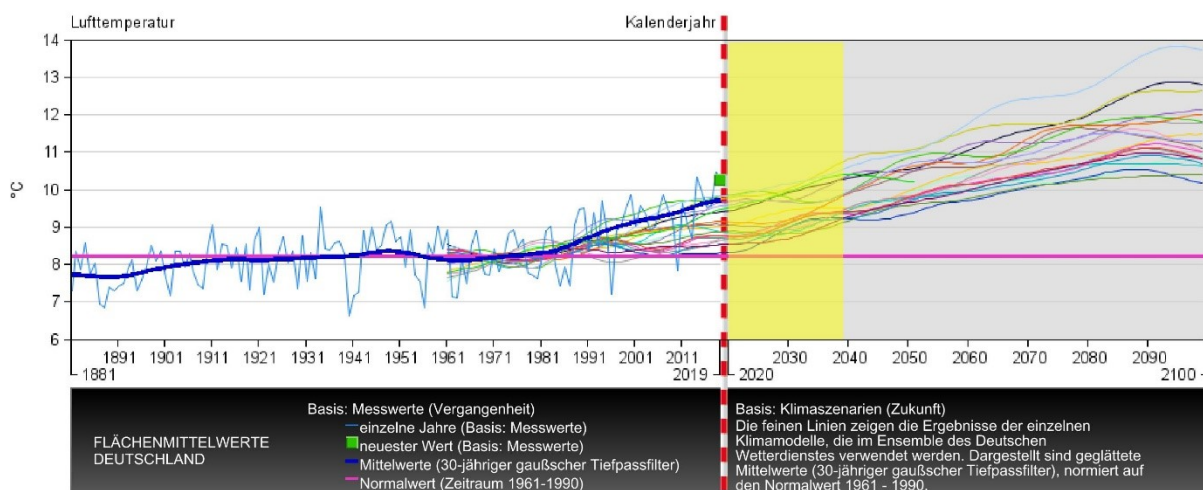


Abbildung 4: Prognostizierte Temperaturentwicklung in Deutschland (Basisszenario A1B, DWD 2020a)

Neben steigenden Temperaturen werden in Deutschland auch ein früherer Vegetationsbeginn, vermehrte Hitze- und Trockenperioden und eine höhere Anzahl an tropischen Nächten erwartet. Für den Winter werden generell mildere Wetterlagen vorhergesagt, die mit einer geringeren Anzahl an Frost- und Eistagen einhergehen. Stabilere Lagen von Hoch- und Tiefdruckgebieten

werden auch in Europa und damit in Deutschland Wetterlagen beständiger werden lassen. Damit einhergehend steigt die Wahrscheinlichkeit von längeren Trocken- und Dürreperioden. Dabei werden diese Prognosen regional unterschiedlich wahrnehmbar sein. So sind die deutschen Küsten und Westdeutschland durch den Einfluss des Meeresklimas weniger von Hitze- und Trockenwellen sowie kalten Temperaturen betroffen. Dahingegen ist Ostdeutschland eher von Kontinentalklima und Süddeutschland von Ausläufern heißer, südlicher Winde geprägt und damit für trockene und heiße bzw. kalte Tage prädestinierter. (Deutschländer/Mächel 2017; IPCC 2019)

Die Klimamodelle des DWD-Klimaatlas zeigen keine großen Änderungen der Niederschlagsmengen in den kommenden Jahren. Prognostiziert wird eine Verschiebung der Niederschlagsereignisse in den Winter. Niederschlagsereignisse werden insbesondere in Sommermonaten seltener und intensiver. Die Anzahl an Starkregenfällen wird steigen. Aufgrund ihres konvektiven Ursprungs weisen diese Extremregenereignisse eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität auf, sind nur kurzfristig vorhersagbar und die Niederschlagssumme ist durch den maximalen Feuchtigkeitsgehalt in der Luft limitiert. (BBK 2015; IPCC 2019; Kruse 2015)

Starkregentage sind als solche definiert, die einen Tagesniederschlag größer 20 mm haben. Durch Sturzfluten, die aus Starkregenfällen resultieren können, ist das Schadenspotential dieser Extremniederschläge immens. Außerdem sind Sturzfluten durch eine geringe Vorwarn- und eine sehr kurze Reaktionszeit, hohe Fließgeschwindigkeiten und spontane Ausuferungen gekennzeichnet. (BBK 2015; Bronstert et al. 2017) Durch das große Schadensmaß einzelner Ereignisse sind bereits kleine Veränderungen im Auftreten von Starkregenfällen gefährlich. Der HLNUG (2018) prognostiziert für das Bundesland, dass sich die Tage mit Starkregenfällen um durchschnittlich +1,7 Tage pro Jahr erhöht.

2.3. Auswirkungen des Klimawandels auf städtische Wasserinfrastrukturen

Städte werden besonders stark von den Auswirkungen des Klimawandels und insb. von den Auswirkungen durch Starkregen getroffen. Die hohe Anzahl und starke Konzentration an Gebäuden und Infrastrukturen bedeuten ein hohes Schadensrisiko, da sie die Funktionalität der Infrastrukturen gefährden. Allgemein sind Städte Zentrum der Wirtschaft, des Verkehrs und der Kommunikation, weswegen ihre Infrastrukturen ihre Funktionalität selbst bei extremen Wetterbedingungen, die durch den Klimawandel häufiger auftreten werden, erfüllen müssen. (IPCC 2019: 241; Kuttler et al. 2017: 226)

2.3.1. Temperaturerhöhung und Trockenheit

Städte weisen insgesamt andere klimatische Charakteristika als das unbebaute Umland auf. Städte haben eine geringere Anzahl an Frost-, dafür häufiger heiße Tage sowie mehr Tropennächte². Abbildung 5 verdeutlicht, dass die Durchschnittstemperatur in Städten vom Versiegelungsgrad in der Stadtstruktur abhängig ist. Mit steigendem Bebauungs- und Versiegelungsgrad steigt die Temperatur in Stadt im Jahresdurchschnitt um +2 °C und in Wintermonaten um bis zu +10 °C. (Baumüller 2018: 175)

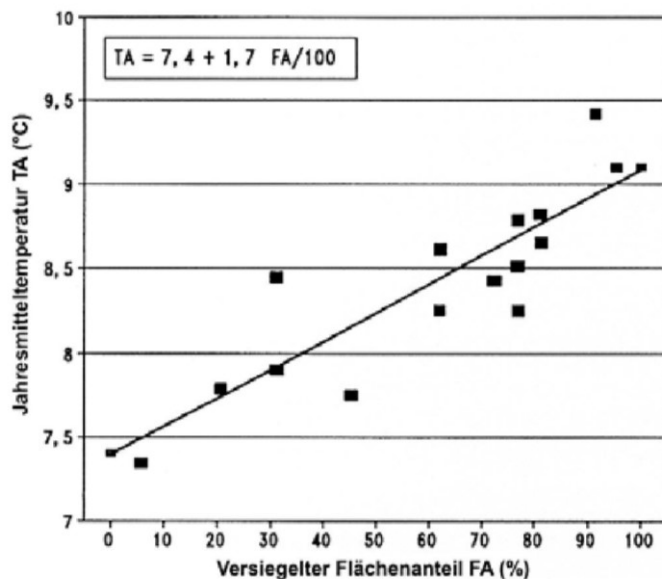


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Jahresmitteltemperatur und Versiegelungsgrad (Bründl et al. 1986 zitiert nach MVI BW 2012: 27)

Städte sind verglichen zum Umland besonders stark von Temperaturerhöhungen betroffen, da sie bis zu 40 % mehr Wärme als ihr Umland speichern. Durch die Sonneneinstrahlung heizen sich Gebäude- und Oberflächenversiegelungen auf. Dabei speichern die Oberflächenmaterialien insbesondere die langwellige Wärmestrahlung besser als unbebaute Flächen und geben die Wärme bei Temperaturabkühlung langsamer ab. (Baumüller 2018: 175; MVI BW 2012)

Aufheizungsprozesse führen bei anhaltenden Wärme- und Hitzeperioden zu einem erhöhten Mikroklima. Als „Mikroklima“ wird das bodennahe Klima eines Areals bezeichnet, das sich durch den Untergrund und die Umgebungsbebauung vom allgemeinen Klima unterscheidet. Die Temperaturen des Mikroklimas sind dabei von der Oberflächenbeschaffenheit und dem verbauten Material abhängig. Abbildung 6 verdeutlicht, dass Wasserflächen nur eine sehr geringe Oberflächenwärme bei demselben Witterungsgeschehen als Asphalt- oder Betonflächen haben.

² Der DWD (2020b) definiert klimatologische Kenntage. Bei einem „Frosttag“ liegt das Minimum der Tagestemperatur unter 0 °C; bei „heißen Tage“ übersteigt die Tageshöchsttemperatur 30 °C; bei „Tropennächten“ liegt die niedrigste Temperatur zwischen 18:00 und 6:00 Uhr über 20 °C.

Insbesondere stark versiegelte Flächen können sich zu sog. „Urban Heat Islands“ entwickeln. (Murray et al. 2012: 492ff; MVI BW 2012)

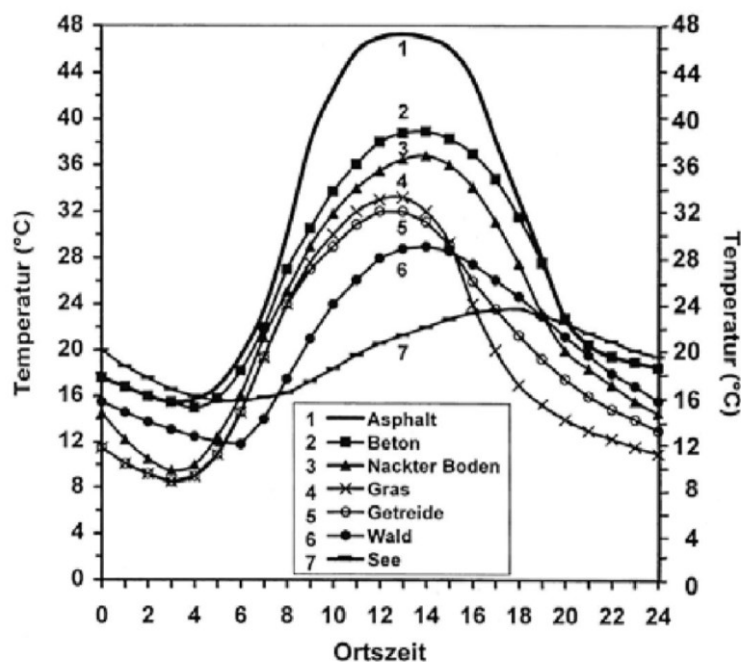


Abbildung 6: Oberflächentemperaturen an einem Sommertag (Fezer 1975 zitiert nach MVI BW 2012: 28)

Infolge des Klimawandels wird ein durchschnittlich steigender Trinkwasserbedarf von ca. 2 bis 3 %, in Trockenjahren bis zu 8 % prognostiziert. Vor allem in heißen Jahren steigt die Trinkwassernachfrage. Ab Temperaturen von 15 bis 20 °C und mit zunehmender Anzahl von Trockentage steigen die Verbräuche von Trinkwasser. Mit der sich fortsetzenden und zunehmenden Verbreitung von wassersparenden Armaturen wird erwartet, dass der Trinkwasserverbrauch zukünftig durchschnittlich trotz Temperaturanstieg sinken wird, allerdings werden die Spitzenlasten insb. zu Wärme- und Trockenperioden steigen. Die Effekte des Klimawandels und des vermehrten Einsatzes von wassersparenden Armaturen werden durch die demographische Entwicklung überlagert. Die demographische Entwicklung ist in deutschen Städten unterschiedlich, sodass in Metropolregionen durch das steigende Bevölkerungswachstum auch die Trinkwassernachfrage steigt. Schrumpfende Städte verzeichnen ein Rückgang der Trinkwassermenge. (Groth/Rose 2018)

Generell und unabhängig von demographischen Entwicklungen werden in anhaltenden Trockenperioden keine überregionalen Engpässe bei der Trinkwasserversorgung erwartet. In kleinteiligen Versorgungsstrukturen können lokal begrenzte und vereinzelte Versorgungsengpässe auftreten. Die Wassergewinnung kann durch sinkende Grundwasserstände infolge ausbleibender Niederschläge erschwert werden. Eine veränderte Rohwasserqualität kann zu erhöhtem Aufwand in der Trinkwasseraufbereitung führen. Im Bereich des Wassertransports durch bodengebundene Leitungen erhöht sich durch die steigenden Bodentemperaturen die Wahr-

scheinlichkeit, dass die Trinkwasserqualität durch Bakterienwachstum abnehmen könnte. Ausreichende Leitungstiefen, Fließgeschwindigkeiten und -mengen können die Qualitätseinbußen kompensieren. (Groth/Rose 2018; Karthe 2014; Kuttler et al. 2017)

Trinkwasserversorger stehen zukünftig vor der Herausforderung, ausreichende Leitungskapazitäten und die Versorgungssicherheit bei stärker schwankenden Tagesverbräuchen durch eine weitsichtige Planung sicherzustellen. Es gilt, Maßnahmen zum Wassersparen durchzuführen und die Effektivität von Bewässerung zu erhöhen. Hierzu könnten alternative Wasserquellen erschlossen werden, die einen Teil vom Wasserbedarf decken kann, für den keine Trinkwasserqualität erforderlich ist. Die Nutzung von Betriebswasser aus Grund-, Niederschlags- oder Grauwasser kann geeignet sein. (Frijns et al. 2013; Groth/Rose 2018; IPCC 2019: 330ff.)

2.3.2. Starkregen und Sturzfluten

Der Klimawandel führt zu einem veränderten Niederschlagsverhalten. Die Intensität und Dauer der Niederschläge werden zukünftig stärker bzw. andauernder, dafür weniger konstant über das Jahr verteilt. Insbesondere das häufigere Auftreten von Starkregen wird die bestehende Abwasserinfrastruktur belasten. Es wird erwartet, dass die abzuleitenden Niederschlagsmengen je nach Klimaszenario zwischen 1,4 und 10,8 % zunehmen. Bestehende Kanalisationssysteme sind bei zunehmenden Starkregenfällen überlastet. In diesem Fall führen Starkregenfälle zum Überlaufen der Mischwasserkanäle. (Bronstert et al. 2017; Groth/Rose 2018; Kuttler et al. 2017)

Als „Starkregen“ wird in der DIN 4049-3:1994-10 ein Niederschlagsereignis definiert, das eine hohe Niederschlagsintensität im Verhältnis zur Dauer hat und selten auftritt. Eine allgemeingültige, quantitative Definition von Starkregen, die auf Niederschlagsintensitäten beruht, gibt es nicht. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) veröffentlicht ab einer Intensität von 10 mm/h oder 20 mm innerhalb von sechs Stunden eine markante Wetterwarnung. Unwetterwarnungen werden bei erwarteten Starkregenmengen von 25 mm/h bzw. 35 mm/6 h veröffentlicht. (Deister et al. 2016: 23)

Infolge von Stark- und Dauerregen kann es zur Ausbildung von Hochwässern kommen. Nach § 72 WHG ist Hochwasser als „zeitlich beschränkte Überschwemmung von normalerweise nicht mit Wasser bedecktem Land“ definiert. Hochwasser kann hierbei in Folge von Starkregenereignissen, Flusshochwasser, Kanalarückstau, Eisgang oder Sturmfluten sein (BMI 2018: 8).

Bei Überflutungen kommt es infolge von Niederschlagsereignissen zu Überlastungen der Entwässerungssysteme, sodass Schmutz- und/oder Niederschlagswasser aus diesen entweichen bzw. nicht eintreten. Überflutungen können Schäden an der Geländeoberfläche oder an Gebäuden resultieren. (DIN EN 752:2017-07) Zur Vorsorge gegen Überflutungen eignen sich laut BMI (2018: 12) und LAWA (2008) insbesondere die Flächenvorsorge, bei der Wasser zurückgehalten wird, sowie Bauvorsorge, die einer temporären Überflutung standhält. Des Weiteren werden

Maßnahmen im technischen Hochwasserschutz, Vorkehrungen zur Gefahrenabwehr sowie eine verbesserte Informations-, Verhaltens- und Risikovorsorge in betroffenen Gebieten empfohlen.

Mikovits et al. (2015) und IPCC (2019: 330ff.) empfehlen die Versickerungsleistung von Böden zu erhöhen, um Stark- und Intensivregen sicherer ableiten zu können. Des Weiteren wird, wie in Abbildung 7 gezeigt, durch die Versickerung von Niederschlagswasser für eine Grundwasserneubildung ermöglicht. Pflanzenverfügbares Wasser kann außerdem verdunstet werden. Maßnahmen zur Erhöhung von Versickerung und Verdunstung können den natürlichen Wasserkreislauf schließen.

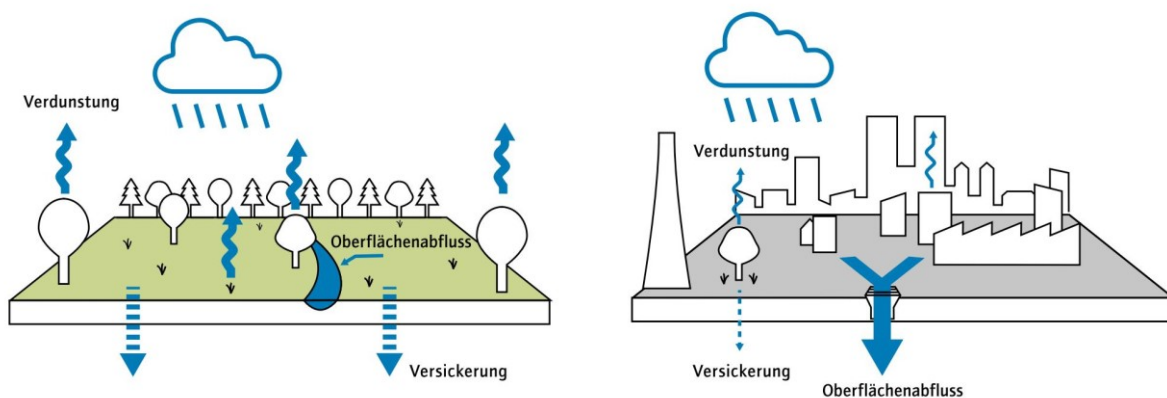


Abbildung 7: Vergleich eines natürlichen und urban beeinflussten Wasserkreislauf (Stadt Köln/StEB 2018: 11)

2.4. Grundlagen der Raumplanung in Deutschland

Grundvoraussetzung für den Bau von Infrastrukturen und städtischen Siedlungen sind Planungen des Raums und der Fläche. Die Raumplanung soll unter anderem die nachhaltige Daseinsvorsorge und den Wasserhaushalt, die Funktionsfähigkeit von Böden und den Ressourcenschutz garantieren (§2 Abs. 2 ROG). Planungsorgane und damit verbundene -prozesse untergliedern sich in auf Bundes-, Landes-, Regions- und kommunale Ebene. Die Bundesplanung gibt Grundsätze und Leitbilder vor. Basierend auf dem Raumordnungsgesetz (ROG) und Landesplanungsgesetzen folgt die Landesplanung, deren Vorgaben für regionale und kommunale Planung allgemeiner und koordinativer Natur sind. Auf diese allgemeinen Planungen folgen die Regional- und kommunale Planung. (Säwert 2015: 37ff; Turowski 2005)

Die Regionalplanung zeichnet sich durch eine interkommunale Planung aus, die raumrelevante Maßnahmen für eine nachhaltige Raumentwicklung koordiniert. Sie ist kommunenübergreifend aktiv, fachlich neutral und hat keine spezielle Fachplanung inne. (Säwert 2015: 39) Insbesondere kommt der Regionalplanung die Aufgabe zu, Freiräume großräumig und kommunenübergreifend zu sichern sowie Raumfunktionen zu entwickeln (§ 8 Abs. 5 Nr. 2a/c ROG). Im Hinblick auf Folgen des Klimawandels sind Anforderungen des Klimaschutzes und „Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken [und] die der Anpassung an den Klimawandel die-

nen“ zu berücksichtigen (§2 Abs. 2 Nr. 6 ROG). Eine Aufgabe der Regionalplanung ist die Sicherung von Wasserressourcen und die Verbesserung des Wasserhaushalts (BMVBS/BBSR 2013: 17).

Die konkrete Bodennutzung wird auf kommunaler Ebene geplant. Das wichtigste Planungsinstrument von Kommunen ist die Bauleitplanung, die sich in zwei Stufen – vorbereitende und verbindliche Bauleitplanung – unterteilt. Die Bauleitplanung soll u.a. eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung garantieren. Vorrangig soll die Innenentwicklung gefördert werden, negative Auswirkungen auf die Bevölkerung und deren Gesundheit durch klimatische Belastungen sind abzumildern und ein sachgerechter Umgang mit Abwässern zu garantieren. (§§ 1 und 1a BauGB).

Hierfür bedienen sich Kommunen den Instrumenten der Bauleitplanung, die in Abbildung 8 dargestellt sind. Der Flächennutzungsplan (FNP) ist die vorbereitende Bauleitplanung. Der FNP ist behördenverbindlich und nicht parzellenscharf. Er hat keine unmittelbare Rechtswirkung auf die Bevölkerung und stellt lediglich die Grundzüge der kommunalen Bauplanung dar. Aus dem FNP leitet sich der Bebauungsplan (B-Plan) ab, der unmittelbar bindend für sein Satzungsgebiet ist. Im B-Plan können Kommunen Planungsvorstellungen und Vorgaben parzellenscharf und rechtsverbindlich umsetzen. Bauvorhaben, die in einem existierenden Satzungsgebiet nicht im Einklang mit dem B-Plan stehen, sind unzulässig. Im nicht beplanten Innenbereich, für die keine B-Pläne verabschiedet wurden, können Kommunen bei genehmigungspflichtigen Bauvorhaben über Satzungen oder städtebauliche Verträge Einfluss auf die Gestaltung nehmen. (Baumüller 2018: 233; Diepes 2017: 44-46)

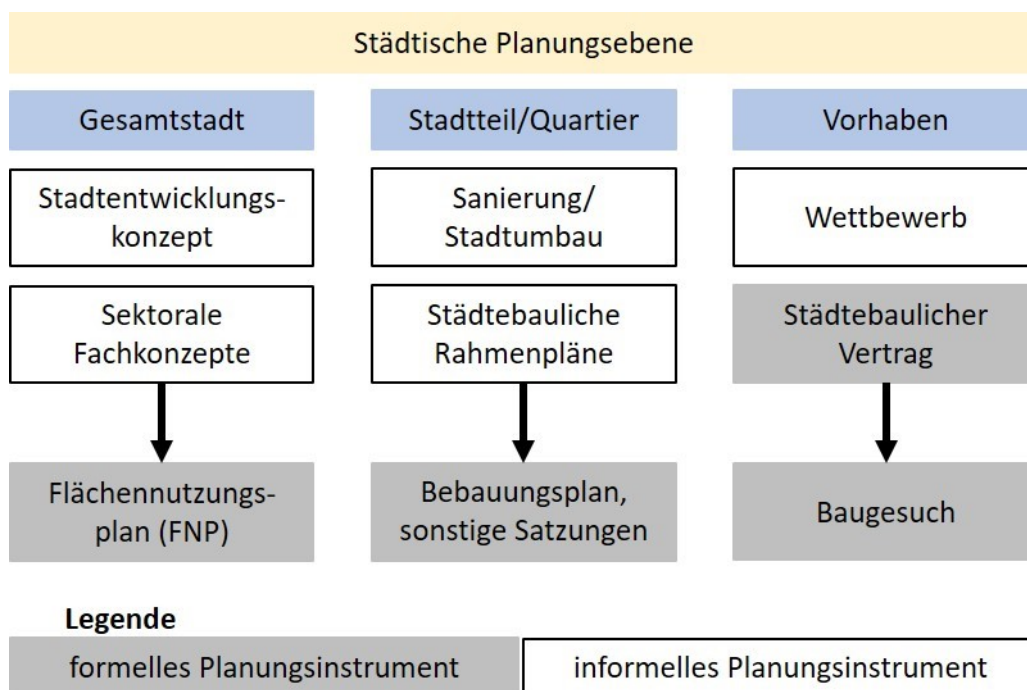


Abbildung 8: Übersicht der kommunalen Planungsinstrumente (Baumüller 2018: 212)

2.4.1. Flächennutzungsplan

Der Flächennutzungsplan (FNP) ist die Grundlage der kommunalen Bodennutzung und gibt den Rahmen dieser und der städtebaulichen Entwicklung vor. Er stellt nach §1 Abs. 5 Nr. 1 BauGB die beabsichtigte Bodennutzung dar. Aus dem FNP leiten sich die B-Pläne mit Ausnahme der vorhabensbezogenen B-Pläne (§13a BauGB) und dem Innenbereich ohne qualifiziertes Planungsrecht (§34 BauGB) ab. Insbesondere im unbebauten Außenbereich entfaltet der FNP seine Wirkung. Im bereits bebauten Innenbereich entfaltet er weniger Gestaltungswirkung. (Baumüller 2018: 216)

Hervorzuheben ist die Steuerungs- und Koordinierungsfunktion des FNP hinsichtlich Klimaschutz- und Energiekonzepten. In ihm lassen sich Anlagen und weitere Maßnahmen darstellen, die dem Schutz und der Anpassung vor Folgen des Klimawandels dienen. Für städtische Agglomerationsbereiche ist insbesondere die Sicherung der Funktionalität von Kalt- und Frischluftschneisen sowie weitläufigen Grünzügen von Bedeutung. (MVI BW 2012: 248) Tabelle 4 listet weitere Festsetzungsmöglichkeiten und deren klimawirksamen Effekte des FNP auf.

Tabelle 4: Auszug aus Festsetzungsmöglichkeiten für klimawirksame Maßnahmen im FNP (Diepes 2017: 56f.)

Darstellung	Inhalt	klimawirksame Effekte
§5 Abs. 2 Nr. 2 BauGB	Sport- und Spielanlagen, Einrichtungen zum Schutz und zur Anpassung an den Klimawandel	- Reduktion von Wärmeinseln - durchlüftungsfördernd - geringe Versiegelungsfläche
§5 Abs. 2 Nr. 5 BauGB	Grünflächen	- durchlüftungsfördernd - Reduktion von Wärmeinseln - Kühlung durch Verschattung - erhöhte Verdunstung - geringe Versiegelungsfläche
§5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB	Wasserflächen, Überflutungsschutz	
§5 Abs. 2 Nr. 9b BauGB	Wald	
§5 Abs. 3 Nr. 1 BauGB	bauliche Vorkehrungen gegen Naturgewalten und äußere Einflüsse	- Überflutungsvorsorge - Extremwetterschutz
§5 Abs. 4a BauGB	Überschwemmungsgebiete	- Überflutungsvorsorge - Extremwetterschutz

2.4.2. Bebauungsplan

Der Bebauungsplan (B-Plan) stellt die verbindliche Bauleitplanung von Kommunen dar und leitet sich aus den Vorgaben des FNP ab. Überwiegend werden B-Pläne in Neubaugebieten und in Bereichen genutzt, die städtebaulich umstrukturiert werden. B-Pläne konkretisieren die Vor-

gaben des FNP parzellenscharf. Sie stellen rechtlich verbindliche und präzise Vorgaben an Bauvorhaben, in dessen Rahmen diese umgesetzt werden. (Baumüller 2018: 222) Klimawirksame Maßnahmen, die in B-Plänen festlegbar sind, sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Auszug aus Festsetzungsmöglichkeiten für klimawirksame Maßnahmen im B-Plan (Diepes 2017: 62f; TUM 2018: 84)

Darstellung	Inhalt	klimawirksame Effekte
§9 Abs. 1 Nr. 5 BauGB	Sport- und Spielanlagen	-Reduktion von Wärmeinseln -durchlüftungsfördernd -geringe Versiegelungsfläche
§9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB	von Bebauung freizuhaltende Flächen	
§9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB	Niederschlagswasserbeseitigung	-erhöhte Verdunstung -Extremwetterschutz
§9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB	Grünflächen	-durchlüftungsfördernd -Reduktion von Wärmeinseln -Kühlung durch Verschattung -erhöhte Verdunstung -geringe Versiegelungsfläche -Extremwetterschutz
§9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB	Wasserflächen	
§9 Abs. 1 Nr. 18b BauGB	Wald	
§9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB	Natur- und Bodenschutz	
§9 Abs. 1 Nr. 21 BauGB	Flächen mit Nutzungsrechten zugunsten der Allgemeinheit	-durchlüftungsfördernd -Reduktion von Wärmeinseln -geringe Versiegelungsfläche
§9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB	freizuhaltende Schutzflächen vor schädlichen Umwelteinflüssen	
§9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB	Pflanzflächen, Erhalt von Bepflanzung und Gewässern	-Kühlung durch Verschattung -erhöhte Verdunstung -Bildung von Luftpolstern auf Dächern und Fassaden

Eine Ergänzung zu den Vorgaben des B-Plans sind städtebauliche sowie privat-rechtliche Verträge. Diese gewinnen insbesondere bei Vorgaben im Hinblick auf Klimafragen an Bedeutung und stellen eine weitere Möglichkeit dar, weitreichendere Anstrengungen zur Minderung von Klimawandelfolgen festzulegen. Insbesondere können sie weiterführende Vorgaben als der B-Plan beinhalten, die dort aufgrund von Rechtfertigungshindernissen keine Erwähnung finden. Begrenzt sind diese – oftmals einzelfallgerechten Lösungen – durch das Rechtmäßigkeitsgebot, sodass ein städtebaulicher und klimarelevanter Bezug sowie eine finanziell vertretbare Belastung gegeben sind. (Baumüller 2018: 245; Diepes 2017: 63ff.)

2.4.3. Stadtumbau und informelle Planungsinstrumente

Kommunen können zur Behebung von städtebaulichen Missständen sog. Stadtumbaumaßnahmen einleiten und Stadtumbaugebiete definieren (§§ 171a, 171b BauGB). Stadtumbaumaßnahmen fassen Maßnahmen zusammen, die der Herstellung nachhaltiger Strukturen zur Wiederherstellung der Funktionalität von städtebaulichen Strukturen dienen. Hierdurch können Siedlungsstrukturen auch an neue, insbesondere aus dem Klimawandel resultierende Herausforderungen angepasst und bisher brachliegende Flächen nutzbar gemacht werden. Im Detail erfolgt eine Modernisierung von Bestandsgebäuden, eine Aufwertung des Wohnumfelds und von Quartiersstrukturen. Brachliegende Flächen haben mitunter ein großes Potential für eine klimagerechte Stadtentwicklung und können im Zuge des Stadtumbaus zur Sicherung und Weiterentwicklung von Stadtgrün genutzt werden. (Baumüller 2018: 230; MVI BW 2012: 246ff.)

Zur Konkretisierung von Zielen des Stadtumbaus ist zusätzlich die Aufstellung informeller Pläne erforderlich. Diese ergänzen die formelle Kommunalplanung, bestehend aus FNP und B-Plänen. Zu den informellen Instrumenten zählen Fachplanungen, Stadtentwicklungsziele und Stadtentwicklungskonzepte. Informelle Planungsinstrumente erhöhen die Komplexität im Planungsverfahren und müssen nach §1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB mit abgewogen werden, wodurch sie Gestaltungscharakter haben. (Baumüller 2018: 211; Schwarz 2020) Informelle Pläne sind mit Ausnahme von Maßnahmen im Stadtumbau (§171b BauGB) und in der Sozialen Stadt (§171e BauGB) nicht verpflichtend aufzustellen.

Informelle Pläne können als Rahmenpläne Leitbilder, Ziele und Handlungsprogramme bspw. für die Stadt-, Innen-, Verkehrsentwicklung oder zur Abmilderung von Klimawandelfolgen ausgestaltet sein. Sie definieren in ihrem Teilbereich Ziele und Leitbilder, die in der verbindlichen Planung abzuwägen sind. Informelle Pläne können auf unterschiedlicher Gebietsebene angewendet werden und die ganze Stadt, Stadtquartiere oder Teile dieser umfassen. Obwohl informelle Pläne in der Bauleitplanung abzuwägen sind, haben sie keinen Anspruch auf bevorrechtigte Abwägung und stellen keine vorrangigen Abwägungspunkte dar. (Schwarz 2020)

Im Vergleich zur formellen Bauleitplanung weisen informelle Konzepte eine inhaltliche und formale Flexibilität auf. Sie bieten die Möglichkeit zur situationsgerechten Planung und präzisieren Grundgedanken zu bestimmten Themen. Dadurch werden sie zu wichtigen und nicht zu unterschätzenden Entscheidungsgrundlagen für Politik und Verwaltung, die sich an diesen Konzepten orientieren können. Durch diese Orientierung findet eine Abwägung mit anderen abwägungsrelevanten Punkten in der verbindlichen Bauleitplanung statt, wodurch Ziele der informellen Planung leichter Eingang in die Bauleitplanung finden. (BBSR 2016; ISB 2017; Schwarz 2020)

3. Klimaanpassung durch wasser-resiliente Stadtentwicklung

In vielen Städten sind bereits erste Auswirkungen des Klimawandels spürbar. Wärme- und Hitzewellen sind ausgeprägter, Stark- und Intensivregenereignisse überlasten temporär die Entwässerungssysteme. Maßnahmen im Klimaschutz und in der Klimaanpassung können die Folgen des Klimawandels abmildern. Dem IPCC (2019: 25, 40) zufolge passen nur wenige Länder ihre Infrastrukturen aktiv an die Folgen des Klimawandels an, obwohl sinnvolle Investitionen in Anpassungsmaßnahmen notwendig sind. Weiterhin wird empfohlen, klimawirksame Maßnahmen bis 2040 zu ergreifen.

3.1. Abgrenzung zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung

Im Allgemeinen existieren zwei Strategien den Klimawandel und seine Folgen abzumildern: Klimaschutz und Klimaanpassung. Klimaschutzmaßnahmen sollen eine weitere Verschärfung des Klimawandels verhindern. Klimaanpassung umfasst Maßnahmen, um auftretende Folgen des Klimawandels am Wirkungsort zu mildern. Klimaanpassungsmaßnahmen sind Reaktionen auf den Klimawandel und ersetzen keinesfalls Klimaschutzmaßnahmen, die vorbeugende Maßnahmen gegen den weiteren Klimawandel sind. (BBSR 2016: 8; Säwert 2015: 28)

Klimaanpassungsmaßnahmen sollen Folgen des Klimawandels mindern oder bestenfalls verhindern. Sie sind direkte und vorsorgende Maßnahmen zur Schadensbegrenzung infolge von Auswirkungen des Klimawandels. Klimaanpassungsmaßnahmen wirken auf lokaler Ebene und mildern die Folgen von Hitzewellen, Trockenheit und Starkregenfällen ab. Zusätzlich sollen sie gesunde Lebensverhältnisse und Eigentum schützen. Maßnahmen in der Klimaanpassung verringern die Anfälligkeit sensibler Infrastrukturen. Klimaanpassungsmaßnahmen wirken lokal, sodass Betroffene diese Wirkung – anders als bei Klimaschutzmaßnahmen – unmittelbar wahrnehmen können. Die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen obliegt lokalen Akteuren, die an die jeweiligen Anforderungen des betrachteten Gebiets angepasst werden müssen. (Füssel/Klein 2006; Säwert 2015: 30; Süßbauer 2016: 47)

Säwert (2015: 48) definiert drei Handlungsfelder für Klimaanpassungsmaßnahmen: Umgang mit Wasserknappheit, Abmilderung mikroklimatischer Hitzefolgen und vorbeugender Hochwasserschutz. Die Folgen durch Wasserknappheit sollen durch Erhaltung von Wasserressourcen und durch einen geschützten Boden-Wasserhaushalt abgemildert werden. Infolge der steigenden Temperaturen, anhaltender Trockenheit und sinkenden versickerungswirksamen Niederschlägen ist eine intensive Nutzung von Wasserressourcen nachhaltig zu steuern. Hitzefolgen können im Quartiersbereich durch die langfristige Sicherung von Luftaustauschbahnen, Kaltluftschneisen und angepassten Oberflächenmaterialien abgemildert werden. Als Reaktion auf die steigende Wahrscheinlichkeit extremer Intensiv- und Starkregen müssen Retentionsräume und Flächen zum Wasserrückhalt gesichert werden. Risiken in potenziellen Überflutungsgebieten sollen analysiert und verringert werden.

3.2. Merkmale wasser-resilienter Stadtentwicklung

Der Begriff „Stadtentwicklung“ beschreibt einen vielschichtigen Prozess von zeitlichen Entwicklungen einer Stadt. Neben baulichen Entwicklungen beinhaltet dieser Begriff auch die Entwicklung von Gesellschaft, Wirtschaft, Kultur und Ökologie im betrachteten Gebiet. Stadtentwicklung folgt Leitbildern und allgemein anerkannten Zielen und kombiniert Ökonomie, Ökologie und Soziales. Vorhaben der Stadtentwicklung können bereits bestehende Stadtstrukturen kontinuierlich an neue Herausforderungen anpassen und bauliche Defizite reduzieren. Im Gegensatz zur Stadtentwicklung steht die Neulandentwicklung, bei denen Leitbilder und Grundvorstellungen von Städtebau bzw. Stadtplanungen direkt umgesetzt werden können. (Libbe 2015; Netsch 2015)

Generell haben städtische Infrastrukturen eine gesamtgesellschaftliche Bedeutung und werden im Fall von Wasserinfrastrukturen als sog. kritische Infrastruktur bezeichnet. Durch Auswirkungen der Folgen einer globalen Erwärmung werden Infrastrukturen anfälliger in ihrer Funktion zu versagen. Die Anpassung von Siedlungsstrukturen und der Infrastruktursektoren wird notwendiger. Beeinträchtigungen der Wasserinfrastrukturen können weitreichende Folgen wie Versorgungsengpässe und hohe Schäden haben. Das Ausmaß, zu dem ein System in seiner Funktionalität versagt, wird als Vulnerabilität bezeichnet. Vulnerabilität kennzeichnet die Anfälligkeit betrachteter Systeme gegenüber nachteiliger Klimaauswirkungen. (Cardona et al. 2012: 79; IPCC 2019: 39; Kuttler et al. 2017)

Im Gegensatz zur Vulnerabilität wird die Fähigkeit eines Systems, seine Funktionen während wiederkehrender Störungen zu erhalten, als Resilienz bezeichnet. Resilienz ist die Fähigkeit Änderungen und Störungen in der Systemumgebung standzuhalten und seine Funktionalität weiterhin zu gewähren. (Kuhlicke 2018; Wilderer/Hauß 2014)

Hinter Resilienz steht der Grundgedanke, dass Bedrohungen und Störungen nicht mit absoluter Sicherheit abgeschätzt werden können. Systeme mit hoher Resilienz weisen eine hohe Robustheit auf, indem sie Störungen widerstehen können und ihre Funktionalität sichern. Resiliente Systeme weisen Redundanzen auf, bei denen im Fall eines Systemausfalls ein Reservesystem Systemaufgaben übernimmt. Die dahinterstehende Zielvorstellung ist die der Stadtresilienz, dessen Strukturen der Stadtbevölkerung gute Lebens- und Gesundheitsverhältnisse unabhängig der sich ändernden Rahmenbedingungen garantiert. Im Stadtentwicklungskontext sind resiliente Systeme divers und integrativ, da sie verschiedene Maßnahmen und Planung mehrerer beteiligter Behörden und Akteure vereint. Anpassungsfähigkeit an neue Herausforderungen, dezentrale Strukturen, sparsamer Ressourceneinsatz, Innovationsfähigkeit sowie die Vorhersehbarkeit im Fall eines Komplettversagens sind weitere Merkmale. (ARUP/The Rockefeller Foundation o.J; Christmann et al. 2016; Kuhlicke 2018)

Resilienz ist darüber hinaus nicht nur für die Gesamtstadt, sondern auch für spezifische Infrastrukturen von Bedeutung. Fletcher et al. (2019: 10) definieren das Konzept der Wasser-Resili-

enz als Kapazität der Städte, die Funktionsfähigkeit aller wasserbezogene Infrastrukturen unabhängig von langfristigen Herausforderungen (bspw. Folgen des Klimawandels) oder Einzelereignissen (bspw. Hochwasser) zu garantieren und die Versorgung aller Bedarfe dauerhaft und jederzeit sicherzustellen.

Das Konzept der Wasser-Resilienz gibt Antworten auf langfristige Herausforderungen sowie kurzfristige Ereignisse und zeigt Hindernisse einer nachhaltigen Wasserwirtschaft bei der Koordinierung, Finanzierung und Kommunikation auf. Wasser-resiliente Infrastrukturen können u.a. Schäden antizipieren und absorbieren, beschädigte Systembestandteile schnell regenerieren und verbessern vulnerable Systembestandteile infolge von Schadensereignissen. Sie sichern jederzeit die Trinkwasserversorgung des Versorgungsgebiets und garantieren den Schutz vor wasserbezogenen Gefahren. Zusätzlich versuchen sie Ökosystemdienstleistungen innerhalb von Städten optimal zu nutzen. Hierfür müssen die Infrastrukturen der Stadt eine sichere Abwasserentsorgung sowie den Schutz von Menschenleben und Besitz bei Überflutungen sowie den von der Umwelt vor Verschmutzung und Zerstörung garantieren. Das Konzept der Wasser-Resilienz beinhaltet die Absicherung vermögensgebundener Strukturen gegen Überflutungen. Prozess-gebundene Planungsabläufe und hohe Flexibilität sowie Redundanzen wasser-resilienter Systeme gelten als wichtige Eigenschaften. (Fletcher et al. o.J.: 11, 2019: 10)

Das Konzept der Wasser-Resilienz weist Parallelen zu den bereits länger diskutierten Konzepten der wassersensiblen Planungen auf. Wassersensible Städte sind ökonomisch und ökologisch effizient auf die Herausforderungen insb. durch den Klimawandel zu entwickeln. Betrachtet werden müssen die veränderten Versorgungsnachfrage und Niederschlagscharakteristika. Um die Versorgungssicherheit redundant zu gestalten wird versucht, durch eine Vielzahl von nutzbaren Rohwasserquellen die Nachfrage bedienen zu können. In Analogie zum Wasser-Resilienz-Konzept sollen Städte Ökosystemdienstleistungen nutzen und Städtebau aus einer nachhaltigen und wassersensiblen Sichtweise integrativ planen. Beide Konzepte eignen sich zur Klimaanpassung, da sie die Effizienz lokaler Infrastrukturen erhöhen, das Mikroklima verbessern und die veränderte Wassernachfrage sowie die uneteteren Niederschlagsereignissen beachten. (Deister et al. 2016: 11; Fletcher et al. o.J., 2019)

3.3. Maßnahmen der Klimaanpassung und wasser-resilienter Stadtentwicklung

Die Anpassung von städtischen Infrastrukturen verringert das Ausmaß von klimawandelbedingten Schäden. Der Leitgedanke der Integration klimaanpassender Elemente ist die Verminderung der Folgen des Klimawandels, insbesondere das schadensfreie Auftreten von Starkregenfällen, die Reduktion von städtischen Hitzebelastungen und die gesicherte Trinkwasserversorgung. Die Maßnahmen führen zu einer Erhöhung des Rückhalts von Niederschlagswasser und dessen Versickerung sowie der Verdunstung. Die Menge Niederschlagswasser, das sich in Abwasserentsorgungssystemen sammelt, reduziert sich und gleichzeitig werden Kühlungseffekte der Pflanzen aktiviert. (Kruse 2015: 58; Winker et al. 2019: 40)

Hitzebelastungen können durch den Einsatz grüner Infrastrukturen minimiert werden, da die Evapotranspiration der Pflanzen die Umgebungsluft abkühlt. Als „Evapotranspiration“ wird der kombinierte Effekt der Oberflächenverdunstung und der Pflanzenatmung bezeichnet, bei der Wasser aus Blatt- und Nadelöffnungen in die Umgebungsluft entweicht. Die Verdunstung des Wassers kühlt die Umgebungsluft ab, da der Verdunstungsvorgang sehr energieintensiv ist. Bei 20 °C Lufttemperatur werden 2,45 MJ Energie pro 1 kg zu verdampfendem Wasser benötigt. Die benötigte Verdunstungsenergie fehlt der Umgebungsluft als Wärmeenergie, wodurch sich die Umgebung abkühlt. Durch diesen Effekt können grüne Infrastrukturen städtische Wärmebelastungen effektiv und relativ kostengünstig reduzieren. Gleichzeitig erhöhen sie die Luft- und Aufenthaltsqualität. (Hiemstra et al. 2017: 11; IPCC 2019: 42/334; Pfoser et al. 2013: 170)

3.3.1. Versickerungsfähige Flächen

Zur Entlastung der Abwassersysteme ist die Regenwasserbewirtschaftung eine der wirksamsten Methoden zur Stärkung des Wasserkreislaufs. Dabei steht die Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser im Fokus. Versickerungsanlagen können ober- bzw. unterirdisch angelegt werden. Sie sind für viele städtische Orte bei verschiedenen Rahmenbedingungen einsetzbar und tragen zur Grundwasserneubildung bei. Versickerungsanlagen stehen in Flächenkonkurrenz zu anderen Nutzungen und entfalten während des Versickerungsvorgangs keine kühlende Wirkung für das Stadtgebiet. (BSU 2006; DWA-A 138)

Voraussetzung für eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung ist ein für die Versickerung geeigneter und gut durchlässiger Boden, genügend Abstand zum Grundwasserleiter sowie zur angrenzenden Bebauung. Oberirdische Versickerungsanlagen untergliedern sich in Flächen-, Mulden- und Beckenversickerung. In Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Fläche, dem anstehenden Boden und den gewünschten Systemkomponenten gilt es, eine geeignete Versickerungsmethode auszuwählen. Abbildung 9 stellt günstige Versickerungsmethoden in Abhängigkeit der Systemkomponenten dar. Durch die Verdunstung und den Zwischenspeicher können insbesondere Mulden- und Beckenversickerung bzw. Mulden-Rigolen-Versickerung positive Auswirkungen für eine höhere Wasser-Resilienz haben. (BSU 2013; DWA-A 138; Stadt Köln/StEB 2017: 34)

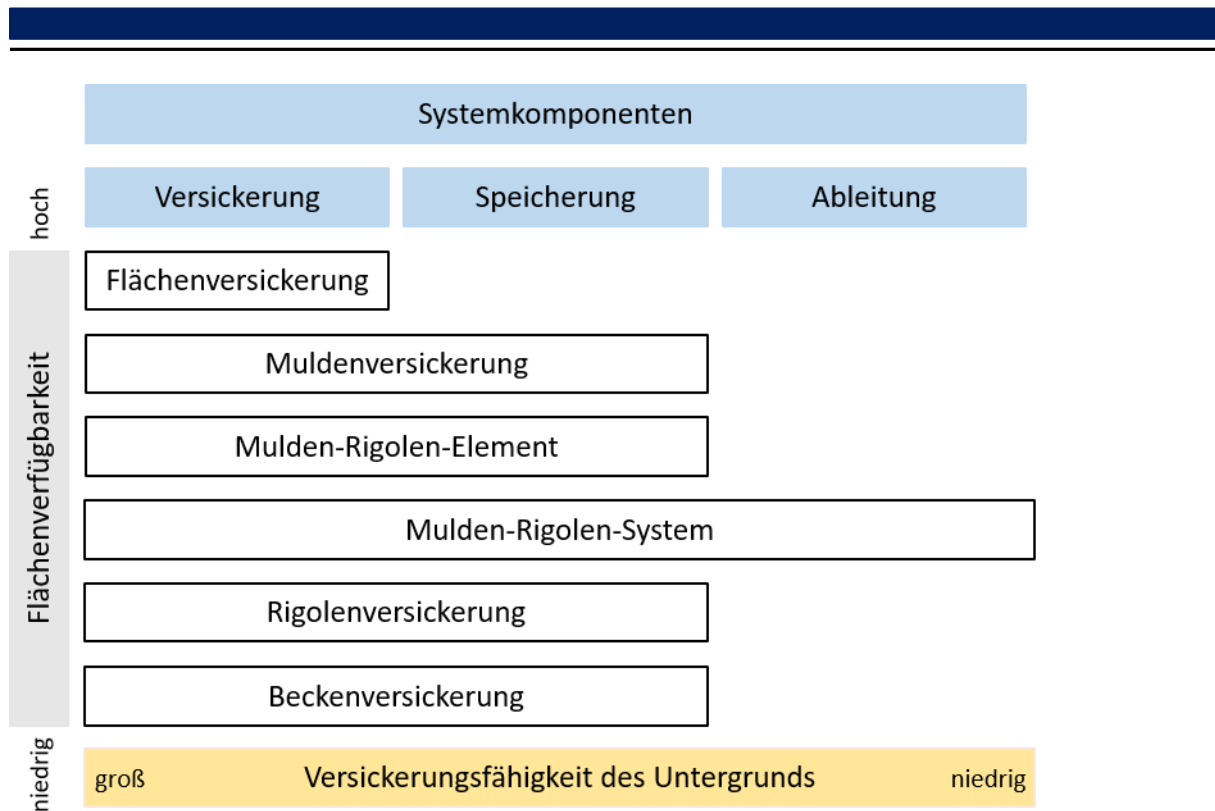


Abbildung 9: Eignung verschiedener Versickerungsmethoden (DWA-A 138: 26)

Bei der Flächenversickerung wird das Niederschlagswasser großflächig über eine durchlässige Fläche versickert. Dabei findet kein Aufstau statt. Die flächige Versickerung verhindert punktuelle Bodenbelastungen, reinigt das Niederschlagswasser während der Bodenpassage und hat eine hohe Effektivität bei geringen Kosten. (DWA-A 138; DWA-M 550; Steinrück 2016)

Bei der Mulden- und Beckenversickerung wird Niederschlagswasser zuerst in einer angelegten Mulde bzw. einem größeren Becken von bis zu 30 cm Tief gespeichert. Bei beiden Versickerungsmethoden ist ein gut wasserdurchlässiger Boden Voraussetzung. Aus diesem Retentionsraum versickert das Wasser entsprechend in den Grundwasserleiter und wird bei der Passage gereinigt. Im Vergleich zur Flächenversickerung ist der Platzbedarf geringer. Der Aufwand in der Erstellung höher. Während des Einstaus wird das Abwassersystem von großen Niederschlagsmengen entlastet und Verdunstungseffekte wirken kühlend. In Abhängigkeit von der Einstautiefe müssen Beckenversickerungsanlagen ggf. eingefriedet werden. Außerdem besteht die Gefahr der Selbstverdichtung bei unsachgemäßer Wartung, die die Versickerungsleistung minimieren kann. (DWA-A 138; DWA-M 550; Steinrück 2016)

An Standorten, an denen die Bodendurchlässigkeit zu gering ist, sind Rigolenversickerungsanlagen zur Versickerung geeignet. Bei der Rigolenversickerung ist durchlässiges Material (bspw. Kies oder Kunststoffhohlkörper) der Zwischenspeicher, bevor das Niederschlagswasser im anstehenden Boden versickert. Bei der sog. Mulden-Rigolen-Versickerung – einer Kombination aus Rigolenversickerung und Muldenversickerung – befindet sich über dem Speichervolumen eine Mulde. Mulden-Rigolen-Systeme sind verbundene Mulden-Rigolen-Elemente, die große Mengen Niederschlagswasser schadlos und schnell versickern können. Mulden-Rigolen-Systeme

sind platzsparend, können schlecht durchlässige Bodenschichten durchdringen und die Bodenoberfläche mit aufnahmefähigen Bodenschichten verbinden. Sie haben gute Retentionseigenschaften und schränken die Flächennutzung nur gering ein. Die wegen der Zwischenspeicherung reduzierte Bodenreinigungsfunktion und die geringen Wartungsmöglichkeiten für einzelne Elemente sind nachteilig zu beurteilen. (DWA-A 138; DWA-M 550: 20; Steinrücke 2016)

3.3.2. Multifunktionale Rückhalteräume

Mit dem Klimawandel erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, mit der Starkregenereignisse auftreten. Im Starkregenfall muss eine wasser-resiliente Stadtinfrastruktur sicherstellen, dass keine Schäden durch das anfallende Niederschlagswasser auftreten. Eine sehr nützliche Einzelmaßnahme sind multifunktionale Rückhalteräume, bei denen „städtische Freiräume wie Grünflächen, Plätze oder Straßen so zu gestalten [sind], dass sie neben ihrer Hauptnutzung im Starkregenfall [auch] als temporärer Retentionsraum dienen“ (Scheid et al. 2019: 83). Durch die Anlage von multifunktionalen Retentionsräumen soll eine schadensfreie Abführung des Niederschlagswassers sichergestellt und die eigentliche Flächennutzung zeitnah wiederhergestellt werden. Multifunktionale Rückhalteräume müssen in Abhängigkeit von Lage, Größe und Belastungsmöglichkeiten hydraulisch effektiv ausgelegt sein. Multifunktionale Rückhalteräume unterscheiden sich von Regenrückhaltebecken darin, dass sie nur selten, d.h. im Notfall eingestaut werden und nicht bereits bei Niederschlägen mit geringerer Jährlichkeit (Benden et al. 2017; Scheid et al. 2019)

Durch die Mehrfachnutzung von Plätzen und Straßen eignen sich multifunktionale Rückhalteräume gut in Städten, die eine hohe Verdichtung aufweisen. Durch die beschränkte Flächenverfügbarkeit eignet sich die Mehrfachnutzung für den gezielten Wasserrückhalt sowie der Versickerung, Speicherung und Verdunstung des Niederschlagswassers. Die Zusatzkosten, um Flächen für eine Mehrfachnutzung als multifunktionale Flächen zu ertüchtigen, sind gering im Vergleich zur Sicherung von reinen Versickerungsflächen im Stadtgebiet. Des Weiteren lassen sich Planungen gut in Neu- und Sanierungsprojekte integrieren. Generell wird der Gestaltung von multifunktionalen Rückhalteflächen sowohl gestalterisches als auch ökologisches Potenzial bescheinigt. Geeignet sind prinzipiell alle städtischen Flächen, wie Grünanlagen, Freiflächen vor öffentlichen Gebäuden, Parkplätze, Innenhöfe und Straßen. Die Lage der Flächen muss in Abhängigkeit von der Topographie und dem zu schützenden Objekten ausgewählt werden. Des Weiteren muss die mögliche Einstautiefe und -zeit berücksichtigt werden, da beispielsweise Grünflächen länger als bspw. Straßen für eine Wasserretention genutzt werden können. Aufwändig kann ggf. die Reinigung nach Starkregenereignissen sein, bei denen Verschmutzungen und Beschädigungen der eigentlichen Nutzung behoben werden. (Benden et al. 2017; Deister et al. 2016; Stadt Köln/StEB 2017)

Auch Straßen können in Bezug auf die Überflutungsvorsorge im Starkregenfall wichtige Freiräume darstellen, auf denen das anfallende Niederschlagswasser zurückgehalten werden kann.

In diesem Fall wird das Oberflächenwasser aktiv bspw. durch Lenkungsbausteine wie u.a. Abflussschwellen und Hochborden in den Straßenraum geleitet, um dort zwischengespeichert oder oberirdisch abgeleitet zu werden. Eine besondere Variante multifunktionaler Rückhalte-räume sind sog. Notwasserwege, die Niederschlagswasser schnell und schadlos auf vorhandenen Weg- und Straßenflächen oberirdisch auf entfernte Flächen leiten. Es ist sicherzustellen, dass für den Katastrophenschutz und Rettungsdienst benötigte Hauptstrecken nicht als multifunktionale Fläche genutzt werden. (BBSR 2015: 45; LUBW 2016: 46; Stadt Köln/StEB 2017: 44)

Im Starkregenfall kann es durch den Wassereinstau kurzzeitig zu Verkehrsstörungen und nachfolgend zu Akzeptanzproblemen kommen. Im Nachgang an den temporären Einstau sind die Flächen zu reinigen und ggf. Schäden auszubessern. Im Starkregenfall erhalten sie die Funktionsfähigkeit der Kanalisation, da sie das Abwassersystem vom Niederschlagswasser entlastet und das Wasser zurückhält, verdunstet oder wieder gedrosselt abgibt. (LUBW 2016: 46; Stadt Köln/StEB 2017: 44)

3.3.3. Entsiegelung und Nutzung wasserdurchlässiger Oberflächen

Die Vulnerabilität von bestehenden Infrastrukturen gegenüber Extremwetterereignissen ist zu einem großen Anteil im hohen Versiegelungsgrad begründet. Ein hoher Versiegelungsgrad kann Überflutungen und große Hitze begünstigen. Niederschlagswasser, das auf versiegelte Flächen fällt, konzentriert sich in der Kanalisation, da es nicht versickern kann. Diese ist im Starkregenfall hydraulisch überlastet, wodurch es zu Überschwemmungen im Stadtgebiet kommt. Darüber hinaus erhitzen sich versiegelte Flächen stärker als unversiegelte Flächen und speichern die Wärme länger. Dieser Aufheizungsprozess wird indirekt durch die Ableitung des Niederschlagswassers verstärkt, da dieses nicht mehr verdunstet und dadurch die Umgebungsluft kühlen kann. (BBSR 2017)

Maßnahmen zur Entsiegelung kann die Überlastung von Abwassersystemen im Starkregenfall verhindern. Auf unversiegelten Böden kann mehr Niederschlagswasser versickern. Die Menge an abzuführendem Niederschlagswasser und die Belastung der Abwassersysteme sinken dadurch. Außerdem ist die Entsiegelung von Flächen eine Möglichkeit zur Reduktion der Wärmebelastung in bestehenden Infrastrukturen. Durch die Entsiegelung wird die Kühlleistung des Bodens aktiviert. Durch weniger versiegelte Flächen werden Hitzebelastungen reduziert und Verdunstungsprozesse aktiviert. In neu zu entwickelnden Gebieten soll grundsätzlich die zu versiegelnde Fläche so gering wie nötig sein. (BBSR 2015: 39; NVK 2013: 31; Stadt Köln/StEB 2017: 32)

Eine andere Möglichkeit zur Reduzierung von Niederschlagswasser, da in die Abwassersysteme entwässert wird, ist der Einsatz von wasserdurchlässigen Oberflächenmaterialien. Diese fördern die Versickerungsfähigkeit des Bodens und reduzieren die Niederschlagswasserkonzentration. Ein Maß für die Versickerungsfähigkeit von Oberflächenmaterialien ist der sog. Abflussbeiwert.

Dieser gibt an, wie viel des auf einer Fläche anfallenden Niederschlagswassers an der Oberfläche abfließt und ist in Tabelle 6 dargestellt. Ist der Abflussbeiwert – bspw. bei Beton – 1,0, müssen 100 % der anfallenden Niederschlagsmenge über die Abwassersysteme entwässert werden. Je geringer der Abflussbeiwert ist, desto höher ist die Versickerungsfähigkeit. Durch die Verwendung von wasserdurchlässigen Oberflächenmaterialien wie bspw. wassergebundenen Flächen werden Abwassersysteme entlastet. (Dierkes 2015; ISB 2017; Stadt Köln/StEB 2017)

Tabelle 6: Abflussbeiwerte ausgewählter Oberflächen (DWA-A 138: 21)

Oberflächenmaterial	Abflussbeiwert
Beton-, Bitumen-, Asphaltflächen	1,0
Pflasterstein (mit Sand verlegt)	0,7
Wassergebundene Flächen	0,5
Gründächer	0,5 bis 0,3
Sportflächen (Rasenfläche und Dränung)	0,3
Rasengittersteine	0,1
Grünflächen, Parkanlagen	0

Neben der reduzierten Niederschlagsmenge erhitzen sich wasserdurchlässige Belege bzw. unversiegelte Flächen deutlich langsamer, was zu einem abgemilderten Mikroklima führt. So können beispielsweise durch den Einsatz von Rasengittersteinen die Oberflächentemperaturen auf Parkplätzen um bis zu 15 °C gesenkt werden. Nachteilig ist, dass nicht jede Oberfläche aufgrund ihrer Nutzung entsiegelt werden kann. Des Weiteren können wasserdurchlässige Oberflächen nicht an Orten verwendet werden, wo wassergefährdende Stoffe austreten können. Darüber hinaus ist der Investitions- und Instandhaltungsaufwand für Eigentümer größer als bei konventionellen Oberflächenbelägen. (BBSR 2015; ISB 2017; Kemper et al. 2011)

3.3.4. Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen

Die Sicherung und Weiterentwicklung von bestehenden Grünflächen erhalten im urbanen Raum eine hohe Priorität. Grünanlagen sind große und unversiegelte Flächen in Städten, auf denen Niederschlag versickern kann. Sie sind sowohl als Retentionsräume für Niederschlagswasser von angrenzenden Flächen wie auch für die Anlage von multifunktionalen Retentionsräumen geeignet. Die Vegetationsfläche wirkt darüber hinaus kühlend auf das Mikroklima. Durch die Sicherung von Grünanlagen wird die bestehende Wasser-Resilienz von Städten gestärkt. Eine weitere Entwicklung von Grünanlagen kann die bestehende Wasser-Resilienz erhöhen. (Deister et al. 2016; Hansen et al. 2018; MVI BW 2012)

Reine Rasenflächen weisen bei Sonneneinstrahlung eine maximale Kühlungsleistung im unteren einstelligen Temperaturbereich auf, da sie keinen Schutz vor langwelligen Sonnenstrahlen

haben, die für die Temperaturerhitzung verantwortlich sind. Die Abkühlungseffekte von Grünanlagen lässt sich durch die Anpflanzung von Bäumen und Sträuchern erhöhen. Zum einen verhindert das Blattwerk eine direkte Sonneneinstrahlung und dadurch die Erhitzung der Oberfläche, zum anderen kühlen Bäume und Sträucher aufgrund der deutlich größeren Blattoberfläche die Umgebungstemperatur deutlich ab. Des Weiteren verringert das Blattwerk im Vergleich zur reinen Rasenfläche den vertikalen Luftaustausch zwischen wärmeren und kälteren Luftmassen. In Baumgruppen können die Temperaturunterschiede zwischen 5 °C und an heißen Sommertagen bis zu 10 °C liegen. (Bowler et al. 2010: 154; Breuste 2019: 155; Pfoser et al. 2013: 182)

Die Sicherung von Grünanlagen kann durch das Ausbilden von sog. Kaltluftschneisen in den Abend- und Nachtstunden zur Kühlung der Stadt. Kaltluftschneisen leiten kühle Luft aus Kaltluftentstehungsgebieten in die Stadt. Kaltluftentstehungsgebiete sind dabei große, zusammenhängenden Freiflächen, wie bspw. Wälder, Wiesen und Felder, die außerhalb der Stadtstrukturen liegen. Im Vergleich zum Stadtgebiet kühlen sich die Luftmassen über diesen Flächen nachts deutlich stärker ab. (MVI BW 2012; Tröltzsch et al. 2012: 34)

Aus stadtentwicklungstechnischer Sicht haben Grünanlagen für die Bevölkerung eine hohe Aufenthaltsqualität und wirken insbesondere in Sommermonaten kühlend. Damit das Kühlungspotenzial der Grünanlage komplett ausgeschöpft werden kann, ist eine gesicherte Wasserversorgung der Pflanzen notwendig. Das kann gerade in Trockenphasen nur durch Bewässerung sichergestellt werden, die so den generellen städtischen Wasserbedarf erhöht und Kosten verursacht. Darüber hinaus unterliegen Grünanlagen einem starken Nutzungsdruck und stehen wie alle städtischen Flächen in Konkurrenz zu anderen Nutzungsarten. (Hansen et al. 2018; Kemper et al. 2011: 28; Kuttler 2011: 9)

3.3.5. Straßenbegleitgrün und begrünte Gleisanlagen

Für die wasser-resiliente Gestaltung von Verkehrswegen sind begleitende Grünflächen und Bäume am Straßenrand von Bedeutung. Straßennahe Grünflächen können die Verkehrsoberflächen entwässern und als Versickerungsfläche wirken. Durch die Aufnahme von Oberflächenwasser wird die Kanalisation entlastet. Weniger zur Entlastung der Kanalisation als viel mehr zu Abminderung von Wärme- und Hitzebelastungen tragen Bäume durch ihre Schattenbildung und Evapotranspiration bei. Insbesondere durch die Verschattung von Flächen wird eine Erhitzung abgemildert. Neben dem dominierenden Effekt der Verschattung führen Evapotranspirationseffekte zur weiteren Abkühlung des Straßenraums. Die Umgebungsluft kann durch Straßenbegleitbäume um bis zu 2 °C kühler, die Oberflächentemperaturen können bis über 20 °C kühler sein. (Bowler et al. 2010: 154; Hiemstra et al. 2017: 11; Pfoser et al. 2013: 180)

Als Straßenbegleitbäume eignen sich hochgewachsene und großkronige Laubbäume, da diese im Sommer großflächig Schatten spenden. Für eine optimale Kühlwirkung muss eine ausrei-

chende Wasserverfügbarkeit sichergestellt sein. Insbesondere durch die große, umliegend versiegelte Fläche ist eine ausreichende Wasserverfügbarkeit für die Bäume in Trockenmonaten nicht garantiert, sodass ggf. aufwändig gewässert werden muss. (Breuste 2019: 151; Kuttler 2011: 11) Abhilfe könnten hier sog. Baumrigolen schaffen, bei denen Straßenbäume mit darunter liegenden Rigolen kombiniert werden. Daneben kann den Bäumen ein tieferer oder vergrößerter Wurzelraum zur Verfügung gestellt werden. Dabei müssen Nutzungskonflikten mit weiteren Infrastrukturen bedacht und vermieden werden. Im Allgemeinen vergrößert Straßengrün die Versickerungsfläche und reduziert durch Verdunstung Hitzebelastungen. In Flächenkonkurrenz stehen sie zu Parkplatzflächen. Sie können weitere Leitungsinfrastrukturen, die sich unterirdisch am Straßenrand befinden, durch ihr Wurzelwerk schädigen und zu Oberflächenschäden durch hochdrückende Wurzeln führen. (BBSR 2015: 41; Benden et al. 2017; Steinrücke 2016).

Die Begrünung von Straßenbahngleisen bietet sich in dicht besiedelten Gebieten an, in denen die Straßenbahn auf einem eigenen Gleiskörper fährt. Im Vergleich zum versiegeltem Gleisunterbau heizt sich der Rasen im Gleiskörper weniger stark auf und reduziert den anfallenden Niederschlagsabfluss, da der Abflussbeiwert zwischen 0,3 und 0,5 liegt. Im Vergleich zu einem herkömmlichen Schotterbett ist die Rasengleisbauweise aufwendiger und teurer. Die Unterhaltungskosten von Rasengleisen sind langfristig geringer, da anstelle der aufwendigen Schotterreinigung und dem Schottertausch lediglich regelmäßige Mäharbeiten anfallen. (AfU 2010: 67; Beermann et al. 2014: 81f.)

3.3.6. Gebäudebegrünung und Innenhofgestaltung

Der Begriff „Gebäudebegrünung“ fasst die Begrünung von Dach- und Fassadenflächen von Hausbauwerken zusammen. Die Begrünung von Hausflächen hat großes Potenzial, da die großflächig versiegelte Fläche im Siedlungsbereich mit dem einhergehenden Mangel an Grünflächen aufgrund der hohen Dichte von Bauwerken und ihren Gebäudeflächen ausgeglichen werden kann. Insbesondere Dachbegrünung kann einen Beitrag zur Erhöhung der Wasser-Resilienz leisten, da es Niederschlagswasser zurückhält und verdunstet. Dadurch werden Abwassersysteme entlastet und das Mikroklima verbessert. (Brune et al. 2017; Pfoser et al. 2013: 173; Stadt Köln/StEB 2017)

Nach Substratmächtigkeit und der Bepflanzung wird zwischen Intensiv- und Extensivgründächern unterschieden. Intensivgründächer sind durch nutzbare Gartenflächen mitunter mit kleinen Stauden und Sträuchern gekennzeichnet, wohingegen auf Extensivgründächern lediglich niedrigwüchsige Pflanzen wie Moose und Kräuter wachsen. Intensive Dachbegrünungen sind pflegeintensiver als extensive und haben allgemein das größere Potenzial zur Retention und Verdunstung. (BUE 2017; Stadt Köln/StEB 2017: 38)

Begrünte Dächer verlangsamen den Niederschlagsabfluss, indem das Wasser im Substrat gespeichert und anschließend verdunstet oder verzögert abgegeben wird. Extensive Gründächer

verdunsten bis zu 50 %, intensive Dachbegrünungen sogar bis zu 67 % des Jahresniederschlags und tragen damit zur Kühlung der Stadt bei. Durch Dachbegrünungen reduziert sich der Wärmeeintrag auf das Gebäude im Vergleich zu konventionellen Dachbelägen wie Bitumen oder Teer. Extensive Gründächer kühlen die Umgebungsluft leicht um 0,4 °C, intensive Gründächer um ca. 1 °C ab. An einem Sommertag kann ein intensives Gründach die Oberflächentemperatur um bis zu 17 °C reduzieren. Der Hauptteil der Oberflächenkühlung ist mit der Verschattung der Oberfläche und weniger mit Transpirationsleistungen der Pflanzen begründet. (Berardi et al. 2014; Brune et al. 2017: 12/21; Pfoser et al. 2013: 178)

Die höheren Investitionskosten amortisieren sich mit der Lebensdauer des Gründachs. Dieses weist bei fachgerechter Ausführung eine längere Lebensdauer und geringere Instandhaltungskosten als konventionelle Flachdächer auf. Des Weiteren verringert ein Gründach die Abwassergebühren, da weniger Niederschlagswasser abgeführt werden muss. Dieser Effekt wird umso größer, wenn in Städten Abwassergebühren gesplittet nach Menge des häuslichen Schmutz- und Niederschlagswasser erhoben wird. (Brune et al. 2017: 26)

Mit zunehmender Gebäudehöhe kann die Fassadenfläche die Dachfläche bei weitem übersteigen. Unabhängig von der Gebäudehöhe können Gebäudefassaden großes Potenzial zur Begrünung ausweisen. Insbesondere aus thermischen Gesichtspunkten bietet die Fassadenbegrünung große Vorteile, da durch die große Verschattungsfläche deutlich weniger Wärmeenergie von der Bausubstanz aufgenommen wird. Hierdurch wird sowohl die Aufenthaltsqualität für Bewohner in Innenräumen erhöht, aber auch die Umgebung der Bebauung profitiert durch eine verminderte Wärmebelastung. Fassadenbegrünung hat lediglich auf Wärmebelastungen einen regulierenden Einfluss. Ein Rückhalt von Niederschlagswasser kann bei erdgebundenen Pflanzen gegeben sein. (Brune et al. 2017; Matzinger et al. 2019: 8; Price et al. 2015)

Fassadenbegrünung lässt sich generell in erdgebundene Systeme mit Kletterpflanzen und in systemgebundene Systeme unterscheiden, bei denen die Fassaden direkt bepflanzt werden. In beiden Ausführungsvarianten mindert die Begrünung die thermische Belastung. Es ist auf eine ausreichende Bewässerung der Fassadenbegrünung zu achten, damit die Pflanzen ihr thermisches Potenzial erreichen können. Je nach Ausrichtung der Fassadenseite unterscheiden sich die Verschattungseffekte, können die Fassadenoberfläche aber um bis zu 15 °C abkühlen. Die Umgebungsluft wird in fassadengebundenen Systemen um max. 1,3 °C, bei bodengebundenen Systemen um max. 0,8 °C abgekühlt. (Matzinger et al. 2019: 8; Perini et al. 2017; Pfoser et al. 2013: 177)

Die Gestaltung von Innen- und Hinterhöfen kann in Stadtstrukturen auch zu einem positiven Mikroklima führen. Dabei werden die vorgestellten Eigenschaften der Entsiegelung (vgl. 3.3.3), von Grünanlagen (vgl. Kap. 3.3.4) und der Fassadenbegrünung vereint. Die Begrünung von Innenhöfen hat dabei insb. Effekte für die Aufenthaltsqualität im Hof und lässt sich mit geringem Aufwand umsetzen. Des Weiteren wird die Konzentration von Niederschlagswasser redu-

ziert. Begrünte und entsiegelte Innenhöfe stehen dabei in Flächenkonkurrenz bspw. zu Parkmöglichkeiten und sind, wenn sie im Bestand umgestaltet werden sollen, mit hohen Investitionskosten für Hauseigentümer verbunden. Langfristig können sie die Attraktivität des Wohnumfelds sowie des Immobilienwerts steigern und Abwassersysteme entlasten. (Gstach 2016: 11; Kemper et al. 2011: 34; SenSU 2016: 53)

3.3.7. Betriebswassernutzung

Veränderte Klimabedingungen können langfristig zu einer Verknappung von Trinkwasserressourcen und damit zu einer Gefährdung der Trinkwasserversorgung führen. Insbesondere in den warmen Sommermonaten ist bei Hitze- und Trockenperioden mit einem erhöhten Spitzenwasserbedarf zu rechnen. Das aktuell vorherrschende System, bei dem für alltägliche Zwecke fast ausschließlich Trinkwasser verwendet wird, kann durch die Nutzung von Betriebswasser entlastet werden. Durch die Verwendung von Niederschlags-, Fluss- oder Grauwasser können Trinkwasserverbräuche für verschiedene Nutzungen, die keine Trinkwasserqualität benötigen, wie bspw. Toilettenspülung, Bewässerung, substituiert und somit die Belastungsspitzen reduziert werden.³ (DWA-A 272: 8; Matzinger et al. 2019: 9)

Voraussetzung für die Betriebswassernutzung ist neben einem separaten Leitungsnetz auch ein ausreichend dimensionierter Speicher. In diesem wird das leicht verschmutzte häusliche Abwasser oder Niederschlagswasser gesammelt. Bei der Sammlung von Niederschlagswasser dient der Speicher gleichzeitig der Entlastung der Abwasserinfrastruktur. Niederschlagswasser kann bspw. von Dach- oder versiegelten Flächen aufgefangen werden. Eine Aufbereitung vor einer Nutzung muss dem Nutzungszweck entsprechend erfolgen. Nach der entsprechenden Reinigung kann sowohl Grauwasser als auch Niederschlagswasser im Haushalt oder zur Bewässerung eingesetzt werden. Insbesondere die mögliche Nutzung als Bewässerungswasser bietet Potenzial, Trinkwasser im Sommer zu substituieren und garantiert gleichzeitig, dass Pflanzen besser mit Wasser versorgt sind. (Allen et al. 2010: 31; Kuttler 2011; Stiefel 2014: 128)

Die Nutzung von Betriebswasser ist abhängig von den örtlichen Rahmenbedingungen. Theoretisch kann eine Betriebswassernutzung große Mengen an Trinkwasser substituieren, jedoch ist die Umstellung der existierenden Infrastruktur sehr aufwendig und kostenintensiv. Wirtschaftlich lohnenswert ist die Umstellung der Infrastruktur vor allem für Neuerschließungen und Nachverdichtungsprojekten. Im Bestand rentiert sich eine Betriebswassernutzung maximal bei bestehenden hohen Auslastungsgrad der Versorgungsstruktur bzw. bei Kapazitätsengpässen. Bei vorhandenen funktionsfähigen Infrastrukturen und Kapazitätsreserven sind Investitionen in eine Betriebswassernutzung weniger rentabel. (DWA-A 272)

³ Laut BDEW (2019) liegt der täglich verfügbare Grauwasseranfall aus Dusche, Badewanne und Handwaschbecken bei 60 Liter pro Einwohner. Durchschnittlich könnten tägliche Verbräuche für die Toilettenspülung, Reinigungs- und Bewässerungswasser von 42 Liter pro Einwohner ersetzt werden.

3.3.8. Wasserflächen

Unter die Einzelmaßnahme „Wasserflächen“ sind künstlich angelegte Teiche und Seen sowie offene Wassergräben und kleine Bäche zu verstehen, die im Stadtgebiet angelegt sind. Charakteristisch für die Einzelmaßnahme ist der Luft-Wasser-Kontakt, sodass insb. eingedohlte Bachläufe und Wassergräben nicht zu dieser Einzelmaßnahme zählen. Offene Wasserflächen können in Stadtstrukturen gestaltend wirken und Folgen des Klimawandels abmildern. (Winker et al. 2019)

Im Starkregenfall bieten offene Wasserflächen Retentionspotenzial und entlasten die Abwasserinfrastruktur. Durch die Kontaktoberfläche zwischen Luft und Wasser können große Wassermengen die Umgebungsluft durch Verdunstung abkühlen. Darüber hinaus kann durch Wind die kühle Temperatur, die über der Wasserfläche herrscht, die nähere Umgebung abkühlen. (SenSU 2016; Winker et al. 2019; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie 2020)

Bewegtes Wasser wie bspw. durch Springbrunnen oder Wasserzerstäuber erhöht die Wasser-Luft-Kontaktfläche nochmals und damit auch die vorgestellten Kühlungspotenziale im Vergleich zu einer stehenden Wasserfläche. Springbrunnen und Wasserzerstäuber haben lediglich einen kühlenden Effekt. Im Starkregenfall können sie Abwasserentsorgungssysteme nicht entlasten. Elemente bewegtem Wasser wirken hingegen sehr ästhetisch und können Platzgestaltungen aufwerten. (SenSU 2016; Winker et al. 2019)

Die Schaffung von Wasserflächen mildert die Temperatureinwirkungen und kann gut mit Entsiegelungsmaßnahmen (Kap. 3.3.3) kombiniert werden. Wasserflächen stehen in Flächenkonkurrenz zu anderen Nutzungsarten und müssen gereinigt werden. Springbrunnen, Zerstäuber u.ä. müssen zudem elektrisch versorgt werden. (Steinrücke 2016; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie 2020: 22)

3.4. Zusammenfassung der Auswirkungen der vorgestellten Einzelmaßnahmen

Die vorgestellten Einzelmaßnahmen führen zu einer größeren Wasser-Resilienz der Stadtinfrastruktur. Die in Kap. 3.3 vorgestellten Maßnahmen sind zur Erhöhung der Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung geeignet und in Tabelle 7 mit ihren Effekten zusammengefasst.

Tabelle 7: Überblick und Auswirkungen der vorgestellten Maßnahmen zur Klimaanpassung und wasser-resilienter Stadtentwicklung

Maßnahme	Beispiele [vgl. 1]	Abmilderung von [vgl. 1, 2, 3, 4, 5]		Entlastung der [vgl. 1, 2, 3, 4, 5]	
		Hitzebelastungen	Starkregen	Abwasserentsorgung	Trinkwasserversorgung
Versickerungsfähige Flächen	Grünflächen, Mulden, Becken, Mulden-Rigolen	Potenzial vorhanden, wenn wasser-gefüllt	großes Potenzial zur Zwischenspeicherung und Versickerung	großes Potenzial zur Entlastung der Abwassersysteme	keinen direkten Effekt
Multifunktionale Retentionsräume	Grünflächen, Stadtplätze, Spielplätze	bei grüner Gestaltung vorhanden	großes Potenzial zur Zwischenspeicherung und ggf. Versickerung	Potenzial zur Entlastung der Abwassersysteme	ggf. Schutz von Trinkwasserinfrastrukturen vor Überschwemmungen
Entsiegelung und Nutzung wasserdurchlässiger Oberflächen	Parkplätze, Innenhöfe, Brachflächen	reduziert Wärmebelastung	verringert Menge an zu entwässerndem Niederschlagswasser	entlastet Abwasserinfrastruktur	keinen direkten Effekt
Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen	Park, Freifläche, Sportanlagen, Grünflächen	Potenzial zur Hitzereduktion in Abhängigkeit zur Flächengröße	Potenzial zur Versickerung	entlastet Abwasserinfrastrukturen, wenn Niederschlagswasser auf Grünfläche geleitet wird	keine Entlastung, ggf. Mehrbelastung durch Bewässerung
Straßenbegleitgrün und begrünte Gleisanlagen	Stadtbäume, begrünte Parkplätze, Rasengleise	reduziert Wärmebelastung	verringert Menge an zu entwässerndem Niederschlagswasser	entlastet Abwasserinfrastruktur	keine Entlastung, ggf. Mehrbelastung durch Bewässerung

Maßnahme	Beispiele [vgl. 1]	Abmilderung von [vgl. 1, 2, 3, 4, 5]		Entlastung der [vgl. 1, 2, 3, 4, 5]	
		Hitzebelastungen	Starkregen	Abwasserentsorgung	Trinkwasserversorgung
Gebäudebegrünung, Innenhofgestaltung	Dach-, Fassaden-, Innenhofbegrünung	reduziert Wärmebelastung; es gibt große, vorhandene Flächen	verringert Menge an zu entwässerndem Niederschlagswasser	entlastet Abwasserinfrastruktur	keine Entlastung, ggf. Mehrbelastung durch Bewässerung
Betriebswassernutzung	Grau-, Fluss-, Niederschlagswasser	ggf. durch Pflanzenkühlung bei Einsatz als Bewässerungswasser	ggf. wenn Niederschlagswasser gespeichert wird	ggf. Entlastung bei Speicherung des Niederschlagswassers	großes Potenzial zur Trinkwassersubstitution
Wasserflächen	Springbrunnen, künstliche offene Wasserwege	Verdunstung kühlt Umgebungstemperatur	Zwischenspeicher für Niederschlagswasser	Entlastung bei Speicherung des Niederschlagswassers	keinen Effekt

[1] (Pfoser et al. 2013: 176), [2] (Matzinger et al. 2019: 26), [3] (Deister et al. 2016: 25),
[4] (Winker et al. 2019: 46), [5] (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie 2020: 24)

4. Erkenntnisse aus städtischen Best-Practice-Beispielen

Viele deutsche Städte verfügen über Klimaschutz- und Aktionsplänen zur Abminderung von Klimawandelfolgen. Reckien et al. (2018: 212) zeigen auf, dass bei den 125 untersuchten deutschen Städten 80,8 % einen Klimaschutz-, 24,8 % einen Klimaanpassungs-, 3,2 % einen kombinierten und lediglich in 16,8 % der betrachteten Städte existiert weder ein Klimaschutz- noch ein Klimaanpassungsplan. keinen Plan haben. Ergänzend dazu führen Kind/Sartison (2017) in einer Studie für das Umweltbundesamt an, dass ca. 50 % aller deutschen Großstädte eine Klimaanpassungsstrategie veröffentlicht haben. Insgesamt haben sich bereits 90 % aller Großstädte mit Aktivitäten und Strategien zur Klimaanpassung befasst. Die Analyse hat festgestellt, dass Städte mit höherer Wahrscheinlichkeit bereits über ein Klimaanpassungskonzept verfügten, je mehr Einwohner in der entsprechenden Stadt wohnen.

4.1. Methodik des Best Practice-Vergleichs

In einer Betrachtung von Best Practice-Beispielen werden drei Konzepte von deutschen Städten betrachtet, um gemeinsame Denk- und Vorgehensweisen in den Konzepten herauszuarbeiten. Fallbeispiele sind ein hilfreiches Instrument, um die hinter dem Konzept stehende Theorie nachvollziehen zu können. Obwohl die Aussagefähigkeit solcher Best Practice-Beispiele nicht unbegrenzt generalisierbar ist, eignen sich diese Analyse von Fallbeispielen, um Prozesse und Ideen aufzugreifen zu können. (Muno 2009; Rohlfing 2009)

Für Best Practice-Vergleiche sind Fallbeispiele nach relevanten Kriterien auszuwählen. Fallbeispiele müssen eine Relevanz für die zu erarbeitende Fragestellung haben, eine Diversität zwischen den Rahmenbedingungen bei einem ähnlichen Ziel sowie Beispielcharakter aufweisen. Hierdurch sollen Zusammenhänge deutlich erkennbar, funktionierende und effektive Maßnahmen aus Fallbeispielen herausgearbeitet werden. Zu allen untersuchten Fallbeispielen müssen Materialien zur Verfügung stehen, um einen vollständigen Vergleich durchführen zu können. (Flick 2014: 165f; Stake 2006; Yin 2014: 56ff.)

Ein Best Practice-Vergleich verdeutlicht, wie und unter welchen Rahmenbedingungen Herausforderungen abgemildert werden können. Dazu sollten verschiedene Vergleichskategorien definiert und für jedes Beispiel analysiert werden. Auf eine absolute Bewertung sollte verzichtet werden, da es sich bei den Fallbeispielen immer um Einzelfälle handelt, die nicht denselben Rahmenbedingungen unterliegen. Von Interesse sind vor allem Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Handlungs- und Gedankenmuster, die vor den jeweiligen Hintergründen betrachtet werden müssen. Die gewonnenen Erkenntnisse können nach der Analyse für ähnlich gelagerte Herausforderungen als Blaupause genutzt werden. (Flick 2014: 168f; Stake 2006)

4.2. Auswahl der betrachteten Fallbeispiele

Im Folgenden sollen bestehende Materialien zur Klimaanpassung von drei Städten in Bezug zum Konzept „Wasser-Resilienz“ analysiert werden. Dafür ist im ersten Schritt eine Auswahl der zu wählenden Städte zu treffen, wobei die gewählten Städte exemplarisch für die verschiedenen Herausforderungen durch den Klimawandel in Deutschland stehen sollen.

Die drei Städte sollen unterschiedliche Stadtgrößen haben und in unterschiedlichen Regionen Deutschlands verteilt sein. Jede der drei Herausforderungen – Trockenheit, Hitze, Starkregen – soll in einem der drei Konzept als dominierende Herausforderung auftreten. Die ausgewählten Städte müssen außerdem explizite und verfügbare Leitfäden, Handlungsempfehlungen oder Rahmenpläne für Klimaherausforderungen haben. Ergänzend sind Konzepte bevorzugt auszuwählen, wenn es die Möglichkeit gibt, Hintergrundgespräche mit Verantwortlichen zu führen. Tabelle 8 fasst die Städte zusammen, aus denen die Auswahl getroffen wurde.

Tabelle 8: Überblick der potenziellen Fallbeispiele

Stadt	Einwohnerzahl (Statista 2019)	klimatische Herausforderung	geeignetes Material neben Klimaanpassungsplänen
Berlin	3.800.000	Trockenheit	Arbeitshilfe blau-grün-graue Infrastruktur
Hamburg	1.900.000	Starkregen	Gründachstrategie
München	1.500.000	Hitze	kein Recherchetreffer
Frankfurt/Main	750.000	Hitze	kein Recherchetreffer
Stuttgart	630.000	Hitze	kein Recherchetreffer
Leipzig	590.000	Trockenheit	kein Recherchetreffer
Bremen	570.000	Starkregen	Merklblatt wassersensible Stadt
Dortmund	590.000	Starkregen	Handlungsstrategie Starkregen
Nürnberg	520.000	Hitze	Handbuch Klimaanpassung
Duisburg	500.000	Starkregen	kein Recherchetreffer
Karlsruhe	313.000	Hitze	Rahmenplan „Hitze“
Freiburg i. Br.	230.000	Hitze	kein Recherchetreffer
Rostock	210.000	Starkregen	kein Recherchetreffer

Für die Fallanalyse wurden die Städte Berlin, Bremen und Karlsruhe ausgewählt. Mit dieser Auswahl werden zum einen die verschiedenen Städtegrößen und dominierenden Herausforderungen abgedeckt.

Berlin hat die Arbeitshilfe für blau-grün-graue Infrastruktur im Forschungsprojekt netWORKS 4 erarbeitet und umgesetzt. Als größte Stadt Deutschlands steht das Konzept stellvertretend für Großstädte mit Metropolgröße. Die klimatische Hauptherausforderung lautet Trockenheit. Bremen initiierte das Projekt KLAS als Reaktion auf zwei Starkregenereignisse, die 2011 binnen zwei Wochen große Teile des Bremer Stadtgebiets überschwemmten. Ein Ergebnis des Projekts

KLAS ist das Merkblatt für eine wassersensible Stadtentwicklung. Bremen steht stellvertretend für mittelgroße Großstädte. Die klimatische Hauptherausforderung ist Starkregen. Karlsruhe reagiert mit dem städtischen Rahmenplan „Hitze“ auf die neue Herausforderung Hitze, die durch die Lage am Oberrheingraben entsteht. Die Auswahl der Fallbeispiele ist durch die Kombination der drei klimatischen Hauptherausforderungen und die unterschiedlichen Stadtgrößen begründet. Darüber hinaus konnten Hintergrundgespräche zu den drei Konzepten geführt werden.

In den folgenden Kapiteln werden die drei Städte und die ausgewählten Publikationen vorgestellt. Der Bezug der Publikationen zum Konzept der Wasser-Resilienz wird jeweils im Anschluss an die Beschreibung der Fallbeispiele hergestellt. Hierbei wird auf die Kennzeichen des Konzepts der Wasser-Resilienz eingegangen, wie sie in Kap. 3.2 definiert wurden.

4.3. Berlin

Die Stadt Berlin verfügt über langjährige Expertise im Regenwassermanagement. Als Projekt zur EXPO 2000 wurde bereits Mitte der 1990er Jahre im Entwicklungsgebiet Rummelsburg ein Baugebiet mit naturnaher Regenwasserbewirtschaftung umgesetzt. Die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (SenSW) ist darüber hinaus Projektpartnerin von mehreren Forschungsprojekten. Zu diesen gehören u.a. auch die Projekte KURAS und netWORKS 4, in denen Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersystemen erarbeitet wurden bzw. bei denen zu klimagerechten städtischen Versorgungssystemen geforscht wurden. Die Ergebnisse beider Projekte sind in der „Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt“ aufbereitet und dargestellt. Die Arbeitshilfe soll im Folgenden analysiert werden und Referenzkonzept für Großstädte mit der Hauptherausforderung „Trockenheit“ sein.

4.3.1. Charakterisierung und klimatische Herausforderungen Berlins

Die deutsche Bundeshauptstadt Berlin liegt im Nordosten von Deutschland und hat eine Einwohnerzahl von 3,64 Mio. (AfS 2019: 37). Die Gesamtfläche Berlins beträgt 891 km², die sich in 55 % Siedlungs-, 15 % Verkehrs-, 23 % Vegetations- und 7 % Gewässerfläche unterteilt. Berlin wird von den Gewässern Spree und Havel durchquert. (AfS 2019: 30ff.)

Klimatologisch gesehen hat Berlin maritime wie auch kontinentale Wettereinflüsse. Insgesamt liegt die Stadt in einer trockenen Region Deutschlands. Mit 590 mm Gesamtniederschlag liegt Berlin deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt. Im Winter bewegen sich die Durchschnittstemperaturen zwischen -2 und +4 °C, im Sommer steigen die Temperaturen durchschnittlich auf 19 bis 24 °C an. (AfS 2019: 15f; Destatis 2019: 18ff.)

Der Klimawandel bedingt auch in Berlin einen Anstieg der Durchschnittstemperaturen sowie veränderte Niederschläge. Die durchschnittlichen Temperaturen nehmen jahreszeitunabhängig

um bis zu 4 °C, die Gesamtniederschlagssumme bis zu 20 % und die Anzahl der Starkregenereignisse von aktuell elf Starkregentagen um maximal 24 % zu. (Reusswig et al. 2016: 32ff.) In Tabelle 9 sind prognostizierte Klimawandelfolgen für Berlin dargestellt.

Tabelle 9: Prognostizierte Auswirkungen des Klimawandels in Berlin (Reusswig et al. 2016: 32ff.)

Zeithorizont	Änderung bis 2031-2060	Änderung bis 2071-2100
Temperatur	+1,2 bis +1,9 °C	+2,9 bis +3,7 °C
Niederschlag	+2 bis +10 %	+6 bis +19 %
Starkregenereignisse	+6 bis +42 %	+13 bis +86 %

Die Auswirkungen des Klimawandels werden die bereits bestehenden klimatischen Herausforderungen der Berliner Stadtstrukturen weiterverschärfen. Insbesondere die hoch versiegelte Innenstadt Berlins weist in Sommermonaten hohe Hitzebelastungen auf. Vergangene Starkregenereignisse führen regelmäßig zu einer Überlastung des Kanalsystems und damit vorübergehenden Einschränkungen und Beschädigungen der bestehenden Strukturen. (SenSU 2016)

Um die bestehenden Herausforderungen abmildern zu können, verfolgt die Stadt Strategien zur Hitzeanpassung und Wassersensibilität. Schlagwörter der Strategie für eine hitzeangepasste Stadt sind durchlüften, verschatten, rückstrahlen, begrünen, verdunsten und wohlfühlen. Die wassersensible Planung der Stadt weist Elemente zur Versickerung, Speicherung, Rückhaltung, Leitung und zum Schutz von Hab und Gut auf. Insbesondere Dach- und Fassadenbegrünung, die Erhöhung des Oberflächenalbedo, urbane Wasserflächen sowie Regenwassermanagement sind effiziente Maßnahmen zum Erreichen der strategischen Ziele. Beim Regenwassermanagement eignet sich neben der Wasserverdunstung auch die Versickerung im größtenteils sandigen Berliner Boden. (SenSU 2016)

4.3.2. Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt

Als Resultat des Forschungsprojekts netWORKS 4 veröffentlichte die Stadt Berlin 2020 eine „Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt“⁴ (Reichmann et al. 2020). In dieser beschreiben Reichmann et al. die Planungsschritte bei der Sanierung und Erweiterung einer Kindertagesstätte im Rahmen des Projekts netWORKS 4. Die Publikation ist Arbeitshilfe und zugleich Erfahrungsbericht, da die Abläufe und Materialien zuerst allgemein erklärt und im Anschluss ein Bezug zur erfolgreichen Planung der Kindertagesstätte gegeben wird. Im Folgenden wird der allgemein gültige Teil der Arbeitshilfe vorgestellt:

⁴ Der Begriff „blau-grün-graue Infrastrukturen“ unterteilt städtische Infrastrukturen in technische Infrastrukturen (grau), urbanes Grün (grün) sowie natürliche und künstliche Gewässer (blau). (Trapp/Winker 2020)

Die Arbeitshilfe ist in sechs Prozessschritte gegliedert:

1. Entwicklung eines gemeinsamen Planungsziels
2. Analyse des Standorts und der Liegenschaft
3. Auswahl von Maßnahmen zur blau-grün-grauen Infrastruktur
4. Entwicklung verschiedener Varianten
5. Variantenbewertung
6. Auswahl der Vorzugsvariante

Die Entwicklung eines gemeinsamen Planungsziels ist die Grundlage der Arbeitshilfe. Aus zwölf möglichen Planungszielen sollen gewünschte Ziele ausgewählt und definiert werden. Werden mehrere Planungsziele ausgewählt, werden die Ziele untereinander gewichtet. Mögliche Planungsziele sind die Folgenden:

- Erlebbarkeit, Begegnung und Identifikation
- Umweltbildung
- Luftreinhaltung
- Lärmschutz
- Verbesserung des Stadtklimas durch reduzierte Hitzebelastung
- Stärkung des natürlichen Wasserhaushalts
- Gewässerschutz
- Klimaschutz
- Biodiversität
- Sicherstellung der Wasserversorgung
- reduzierter Flächenbedarf

Die Umsetzbarkeit ist abhängig vom Standort und der Liegenschaft, wodurch der 1. und 2. Schritt der Arbeitshilfe in großer Wechselwirkung zueinanderstehen. Die örtlichen Gegebenheiten des Standorts können das Erreichen mancher Planungsziele erschweren: Die Versickerung von Niederschlagswasser steht bspw. in Abhängigkeit zum anstehenden Boden. Andere Planungsziele – bspw. Lärmschutz – können durch umliegende Bebauungen direkt erforderlich sein.

Basierend auf der Auswahl der Planungsziele sieht der 3. Schritt der Arbeitshilfe die partizipative Auswahl der Einzelmaßnahmen vor. Diese werden in die Variantenplanung aufgenommen. Für die Auswahl der Maßnahmen wird ein Arbeitstreffen vorgeschlagen, bei dem die beteiligten Akteure für die Potenziale der Maßnahmen sensibilisiert und bei denen die Rahmenbedingungen sowie Hindernisse bei der Implementierung angesprochen werden können. Ziel des Arbeitstreffens ist die Entwicklung einer gemeinsamen Standortvision. Die Liste möglicher Einzelmaßnahmen und deren Auswirkungen auf verschiedene Parameter sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Auszug aus den Auswirkungen der vorgestellten Maßnahmen der Berliner Arbeitshilfe (Reichmann et al. 2020: 88ff.)

Maßnahme	thematischer Verweis	natürlicher Wasserhaushalt	Grundwasserschutz	Gewässerschutz	Erlebbarkeit, Identifikation
Dachbegrünung	vgl. Kap. 3.3.6	stark positiv	neutral	stark positiv	stark positiv
Fassaden-/Wandbegrünung	vgl. Kap. 3.3.6	stark positiv	neutral	leicht positiv	leicht positiv
Innenraumbegrünung		neutral	neutral	neutral	leicht positiv
Nichtgebäudebezogene Bauwerksbegrünung (bspw. Grundstück, Straßenraum)	vgl. Kap. 3.3.5	leicht positiv	neutral	leicht positiv	stark positiv
Technische Gebäudekühlung		leicht positiv	neutral	leicht positiv	neutral
Urbane Landwirtschaft		stark positiv	negativ	leicht positiv	stark positiv
Toilettenspülung mit Betriebswasser	vgl. Kap. 3.3.7	leicht positiv	neutral	leicht positiv	neutral
Bewässerung mit Betriebswasser	vgl. Kap. 3.3.7	stark positiv	negativ	leicht positiv	leicht positiv
Vermeidung von Versiegelung, Entsiegelung	vgl. Kap. 3.3.3	stark positiv	negativ	leicht positiv	leicht positiv
Grünflächen und Grüne Freiräume	vgl. Kap. 3.3.4	stark positiv	neutral	stark positiv	stark positiv
Versickerung mit Bodenpassage	vgl. Kap. 3.3.1	stark positiv	negativ	stark positiv	stark positiv

Maßnahme	thematischer Verweis	natürlicher Wasserhaushalt	Grundwasserschutz	Gewässerschutz	Erlebbarkeit, Identifikation
unterirdische Versickerung (bspw. Rigolen)	vgl. Kap. 3.3.1	leicht positiv	negativ	stark positiv	neutral
Wasserspiele	vgl. Kap. 3.3.8	stark positiv	neutral	neutral	stark positiv
künstliche Wasserflächen	vgl. Kap. 3.3.8	stark positiv	neutral	stark positiv	stark positiv
Verdunstungsmulden, -beete	vgl. Kap. 3.3.1	stark positiv	stark positiv	neutral	stark positiv
Baumstandorte (bspw. in Mulde, als Baumrigole)	vgl. Kap. 3.3.5	stark positiv	leicht positiv	leicht positiv	neutral
Multifunktionale Rückhalteräume	vgl. Kap. 3.3.2	stark positiv	neutral	stark positiv	stark positiv
Stauraum im Kanaleinzugsgebiet (bspw. Regenüberlauf-/rückhaltebecken)	vgl. Kap. 3.3.2	neutral	neutral	stark positiv	stark positiv
naturnahe Reinigungsverfahren (Retentionsbodenfilter, Pflanzenkläranlagen)		leicht positiv	neutral	stark positiv	leicht positiv
Technische Reinigung von Niederschlagswasser (u.a. Reinigung im Straßenabfluss, Regenklärbecken)		neutral	neutral	neutral	neutral
Kanalspülung mit Betriebswasser (Schwallspülung der Kanalisation)	vgl. Kap. 3.3.7	leicht positiv	neutral	leicht positiv	neutral
Energierückgewinnung aus Abwasser		neutral	neutral	neutral	neutral

In Anschluss an die Entwicklung der gemeinsamen Planungsziele, der Standortanalyse sowie der Maßnahmenauswahl folgt die Variantenentwicklung und -bewertung. Anhand der definierten Ziele und Standortrandbedingungen erfolgt die Auswahl der Vorzugsvariante. Durch die im 1. Schritt bei der Zieldefinition vorgenommenen Gewichtung der einzelnen Planungsziele können die verschiedenen Varianten bewertet werden und anschließend die Vorzugsvariante im Rahmen einer Nutzwertanalyse ausgewählt werden, die den größten Nutzen verspricht.

4.3.3. Bezug der Berliner Arbeitshilfe auf das Konzept der Wasser-Resilienz

Die Berliner „Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt“ unterstützt die Integration von ökologischen Gesamt- und integrierten Wasserkonzepten in vorhabenbezogenen Planungen. Durch die Integration der vorgestellten Maßnahmen soll ein „möglichst schonende[r] und effiziente[r] Umgang mit Ressourcen garantier[t]“ werden (Reichmann et al. 2020: 12). Grundlegendes Planungsziel ist die vollständige Abkopplung des bebauten Grundstücks von der Mischkanalisation, um Abwasserentsorgungssysteme zu entlasten.

Die Ziele der Planungshilfe sind deckungsgleich zu denen der Wasser-Resilienz. Die langfristige Herausforderung – hier: Trockenheit und eine sinkende Rohwasserverfügbarkeit – und die kurzfristige eintretenden Ereignisse – hier: Schäden durch Starkregen und Hitzebelastungen – sollen durch den Einsatz von blau-grün-grauen Maßnahmen gemildert werden. Durch die Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen werden die Abwassersysteme durch die Regenwassernutzung und -bewirtschaftung und die Trinkwasserversorgung durch die Betriebswassernutzung entlastet. Die Maßnahmen, die zum Rückhalt von Niederschlagswasser geeignet sind, schützen das Projekt vor Überschwemmungen. Ökosystemdienstleistungen werden dahingehend genutzt, dass Verdunstungseffekte das Mikroklima kühlen.

Viele der in Tabelle 10 vorgestellten Maßnahmen können den in Kap. 3.3 vorgestellten Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz zugeordnet werden und können die Wasser-Resilienz bestehender Infrastrukturen erhöhen. Darüber hinaus präsentieren Reichmann et al. (2020) mit Innenraumbegrünung und technischen Gebäudekühlung, urbaner Landwirtschaft sowie Energierückgewinnung aus Abwasser weitere Maßnahmen, die in Kap. 3.3 nicht erwähnt wurden und die den Kriterien der Wasser-Resilienz nicht entsprechen. Diese Maßnahmen entlasten weder Abwasser- noch Trinkwassersysteme bzw. schützen Infrastrukturen vor wasserbezogenen Gefahren. Außerdem werden durch sie mehrheitlich keine Ökosystemdienstleistungen zur Mikroklimakühlung genutzt.

Die Ziele der Wasser-Resilienz und die der vorgestellten Arbeitshilfe sind zu großen Teilen deckungsgleich. Viele der in der Arbeitshilfe vorgestellten Maßnahmen können denen in Kap. 3.3 zugeordnet werden, wodurch ein Großteil der Maßnahmen zur Stärkung wasser-resilienter

Strukturen angewendet werden können. Aufgrund der großen Überschneidungen zwischen Arbeitshilfe und Wasser-Resilienz sind Rückschlüsse aus dem Berliner Best Practice-Beispiel für die zu erarbeitende Arbeitshilfe möglich. Die Arbeitshilfe ist ein gelungenes Beispiel, wie blau-grün-graue Maßnahmen in eine Vorhabenplanung integriert werden können.

4.4. Freie Hansestadt Bremen

Infolge von zwei Starkregenereignissen waren 2011 viele Gebiete Bremens überschwemmt und die Infrastrukturen in ihrer Nutzung eingeschränkt. Als unmittelbare Konsequenz aus den Starkregenereignissen wurde das Projekt KLAS mit dem Ziel eingerichtet, Klimaanpassungsstrategien für das Land Bremen auszuarbeiten.

4.4.1. Charakterisierung und klimatische Herausforderungen Bremens

Das Bundesland Freie Hansestadt Bremen liegt im Nordwesten Deutschland. Das Bundesland hat eine Einwohnerzahl von über 680.000 Einwohnern und besteht aus den beiden Städten Bremen und Bremerhaven. Der Zwei-Städte-Staat hat eine Fläche von 42 ha und liegt durchschnittlich 0,2 bis 2,0 m über dem Meeresspiegel. (Statistisches Landesamt Bremen 2019: 27, 40) Die Flächennutzung im Land Bremen untergliedert sich in 44 % Siedlungs-, 12 % Verkehrs-, 32 % Vegetations- und 12 % Gewässerfläche (Statistisches Landesamt Bremen 2019: 32).

Das Klima ist stark maritim mit kühlen Sommer- und milden Wintermonaten geprägt. Bremer Sommer sind durchschnittlich 16 bis 17 °C warm, während die Temperatur in den Wintermonaten durchschnittlich bei 1 bis 2 °C liegen. Die sommerlichen Höchsttemperaturen sind durch das maritime Klima niedriger als in anderen Teilen Deutschlands. Im langjährigen Mittel fällt ca. 740 mm Niederschlag pro Jahr, was geringer als der deutschlandweite Durchschnitt ist. Durch den Klimawandel werden Temperaturanstiege um bis zu 1,3 °C erwartet. Langfristig wird ein Temperaturanstieg um bis zu 3,6 °C sowie eine Zunahme der Gesamtniederschlagsmenge um ca. 10 % in Bremen prognostiziert. Erwartet werden Verschiebungen der Niederschlagsmenge in die Wintermonate, während die Sommermonate geringfügig trockener werden. (DWD/SUBV 2018: 17ff.)

Neben der Erhöhung der durchschnittlichen Temperaturen sowie der Verschiebung von Niederschlägen wird eine Zunahme von Hitzetagen und Tropennächten sowie eine Zunahme der Häufigkeit von Starkregenfällen erwartet. Hitze- und Trockenheitsperioden führen zu Hitzebelastungen und einem erhöhten Bewässerungsbedarf beim bestehenden Stadtgrün. In den nächsten 50 Jahren wird erwartet, dass sich die aktuell 28 Sommer- und 9 Hitzetage verdreifachen werden. Starkregenfälle werden um bis zu 30 % häufiger auftreten. Aufgrund der topographischen Gegebenheiten besteht das Schadenspotenzial aus flächenhaften Überschwemmungen. Die Verschiebung der Niederschlagsmengen in Richtung Wintermonate verstärkt die Aufwärmeeffekte

in den Sommermonaten, da Stadtgrün durch die Trockenheit weniger kühlen und Niederschlagswasser nicht verdunsten kann. (SUBV 2018: 17ff.)

4.4.2. Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung

Im Projekt KLAS – KlimaAnpassungsStrategien entwickelt das Bundesland Bremen Anpassungsstrategien, um die bestehende Stadtstruktur an extreme Niederschlagsereignisse anzupassen. Das „Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung“ wurde 2015 durch den Bremer Senator für Umwelt, Bau und Verkehr vorgestellt (SUBV 2015). Ziel des Merkblatts ist eine Stadt- und Freiraumgestaltung, in die ortsnahe Rückhalt, Versickerung, Verdunstung, Speicherung und Nutzung von Niederschlagswasser integriert ist.

Das Merkblatt ist in sieben Punkte untergliedert:

1. Analyse von Überflutungsverdachtsfällen
2. Analyse der Schadens- und Risikopotenziale
3. Erarbeitung von Potenzialräumen
4. Vorstellung geeigneter Einzelmaßnahmen
5. Entwurfsbeispiele
6. Hinweise für die Umsetzung in der Bauleitplanung
7. Good Practice-Beispiele

Im ersten Schritt wird das Bremer Gebiet systematisch untersucht. In der Überflutungsanalyse werden die Topographie digital erfasst und ausgewertet, sodass Senken und Tiefen im betrachteten Gebiet identifiziert werden. Mithilfe des folgenden hydrodynamischen Modells werden für diese Tiefen und Senken maximale Wasserstände infolge eines zugrunde gelegten Bemessungsregen errechnet. Anschließend folgt eine Kanalnetzberechnung, die Auskunft über das Überstauvolumen gibt, wodurch sich potenzielle Überflutungsflächen herauskristallisieren. Diese Flächen werden im zweiten Schritt mit ihren Nutzungen überlagert, wodurch bei der Kombination aus Überflutungsgefährdung und Nutzungswert das Risikopotenzial resultiert. Je größer das Risikopotenzial, desto höher ist ein möglicher Schaden infolge einer Überflutung. Flächen mit hohem Risikopotenzial sollten durch die Umsetzung von Maßnahmen an die Herausforderungen durch den Klimawandel angepasst werden.

Im Nachgang an die Analyse des Risikopotenzials werden im 3. Schritt sog. Potenzialräume erarbeitet, bei denen die Umsetzung von klimaanpassenden Maßnahmen die vorherrschende Situation verbessern würde. Im 4. Abschnitt des Merkblatts werden Maßnahmen zur Verbesserung der bestehenden Situation vorgestellt. Die Auflistung dieser Maßnahmen ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Vorgestellte Maßnahmen des Bremer Best Practice-Beispiels (SUBV 2015: 18ff.)

Maßnahme	Verweis, ggf. Beschreibung	Wirkungsgrad	Nutzen	Konflikte
Sicherung und Schaffung von Retentionsflächen	vgl. Kap. 3.3.2	hoch	Rückhalt, Verdunstung von Niederschlagswasser	Konkurrenz um Flächennutzung, Bestandsschutz
Dezentrale Versickerung und Verdunstung von Regenwasser	vgl. Kap. 3.3.1	mittel bis hoch	Grundwasserneubildung, verbessertes Mikroklima	Platzbedarf, Abflussqualität, Pflegebedarf
(Teil-)Entsiegelung befestigter Flächen	vgl. Kap. 3.3.3	gering bis mittel	Grundwasserneubildung, Hitzereduktion	Schadstoffeintrag, Komforteinschränkungen (bspw. Barrierefreiheit)
offene Ableitung	Niederschlagswasser soll oberirdisch durch offene Gräben, Kanäle auf Versickerungs- oder Retentionsflächen geleitet werden (vgl. Kap. 3.3.8)	hoch	Entlastung Kanalisation, Freiraum- und Straßengestaltung („Erlebnis Wasser“)	Reinigungsaufwand, ggf. Einschränkungen des Geh- und Fahrkomforts
Reaktivierung ehemaliger Gräben und Gewässer	Freilegung verrohrter, zugeschütteter oder überbauter Oberflächengewässer (vgl. Kap. 3.3.8)	hoch	Aufwertung des Stadtbildes, Entlastung Kanalisation, Verdunstung	Abflussqualität, Pflegebedarf, Nutzungskonflikte
Begrünung von Dachflächen	vgl. Kap. 3.3.6	mittel	verbessertes Mikroklima, Retentionsraum, Lebensraum	Gebäudestatik, Denkmalschutz
Einbeziehung städtischer Verkehrs- und Freiflächen zur Überflutungsvorsorge	vgl. Kap. 3.3.2	mittel bis hoch	Flächensparen, Entlastung Kanalisation, verbessertes Mikroklima	Verkehrsfluss, Verkehrssicherheit, Barrierefreiheit, Zuständigkeiten

Maßnahme	Verweis, ggf. Beschreibung	Wirkungsgrad	Nutzen	Konflikte
Rückhalt von Abflussspitzen in (unterirdischen) Bauwerken und Lufträumen	Zwischenspeicherung von Extremniederschlägen in unterirdischen Speichern in bspw. Tiefgaragen, Tunnel, Keller (Wirkung vgl. Kap. 3.3.2)	hoch	Flächensparen, Entlastung Kanalisation	Zuständigkeiten
Notentwässerung (Ableitung) über Straßen und Wege	vgl. Kap. 3.3.2	mittel	Flächensparen, Entlastung Kanalisation	Verkehrsfluss, Verkehrssicherheit, Barrierefreiheit, Zuständigkeiten
Regenwassernutzung	vgl. Kap. 3.3.7	mittel	Entlastung Trinkwasserversorgung	Systemauslastung beim Trinkwasserversorger

Im Anschluss an die vorgestellten Entwurfsbeispiele folgen Hinweise zur Bauleitplanung, bei denen die Darstellbarkeit und Umsetzbarkeit der einzelnen Maßnahmen in der vorbereitenden sowie verbindlichen Bauleitplanung verdeutlicht werden. Mit Good Practice-Beispielen endet das „Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung“.

4.4.3. Bezug des Bremer Merkblatts zum Konzept der Wasser-Resilienz

Das Bremer „Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung“ ist im Zuge des Projekts KLAS entstanden, bei denen neben dem SUBV (u.a. Verkehrs- und Stadtplanung) der Katastrophenschutz, Umweltbetrieb Bremen (u.a. Stadtentwässerung), der lokale Trinkwasserversorger, Einwohnerschaft, Bremerhavener Institutionen sowie weitere Fachbehörden teilnahmen. Das Merkblatt ist ein Resultat aus den gemeinsamen Überlegungen, städtische Infrastrukturen gegen Auswirkungen des Klimawandels zu stärken und insb. die Funktionsfähigkeit von Infrastrukturen nach Starkregenfällen zu garantieren.

Im Rahmen des Projekts konnten Zuständigkeiten und Koordinationsfragen erörtert und Maßnahmen zur Abmilderung kurz- und langfristiger Klimawandelfolgen erarbeitet werden. Durch das Merkblatt sollen bestehende Infrastrukturen vor den langfristigen Folgen des Klimawandels, vor allem der Zunahme der Starkregenfälle, geschützt werden. Die Abwassersysteme werden durch Wasserrückhalt geschützt. Trinkwassersysteme werden in ihrer Resilienz gestärkt, indem die Risikoanalyse Überschwemmungen von wichtigen Netzteilen der Trinkwasserversorgung – bspw. Pumpstationen – analysiert und im Nachgang bauliche Maßnahmen zum Schutz getroffen werden. Darüber hinaus werden bei der Verwendung einzelner Maßnahmen Verdunstungsprozesse gestartet, die das örtliche Mikroklima kühlen. Die Zielausrichtung des Merkblatts erfüllt somit die Kriterien der Wasser-Resilienz.

Die vorgestellten Maßnahmen des Bremer Merkblatts (vgl. Tabelle 11) lassen sich den Maßnahmen aus Kap. 3.3 zuordnen und weisen wasser-resiliente Kennzeichen auf. Zusätzlich wird im Bremer Merkblatt die Maßnahme „Rückhalt von Abflussspitzen in (unterirdischen) Bauwerken und Lufträumen“ genannt. Diese weist große Ähnlichkeiten zu multifunktionalen Retentionsflächen mit dem Unterschied auf, dass der Retentionsraum unterirdisch angelegt ist. Auch diese Maßnahme erfüllt in großen Teilen die Kennzeichen von Wasser-Resilienz.

4.5. Karlsruhe

Die Stadt Karlsruhe veröffentlichte mehrere Ausarbeitungen zum Thema Klimaschutz und Klimaanpassung. Basierend auf dem Klimaanpassungskonzept und dem ExWoSt-Forschungsprojekt „Innenentwicklung versus Klimakomfort im Nachbarschaftsverband Karlsruhe“ wurden das Klimaanpassungskonzept sowie der „Städtebauliche Rahmenplan Klimaanpassung – Anpas-

sungskomplex „Hitze“ vom Stadtplanungsamt Karlsruhe (StPlA) entwickelt. Dieser soll im Folgenden analysiert werden und auf seine Eignung als Referenzkonzept für Großstädte mit dem Hauptproblem „Hitze“ analysiert werden.

4.5.1. Charakterisierung und klimatische Herausforderungen Karlsruhes

Die Stadt Karlsruhe liegt in Baden-Württemberg. Karlsruhe hat eine Gesamtstadtfläche von 173 km² und eine Einwohnerzahl von 300.000 (AfStE 2019: 11). Die Flächennutzung in Karlsruhe untergliedert sich in 31 % Siedlungs-, 13 % Verkehrs-, 52 % Vegetations- und 4 % Gewässerfläche (AfStE 2019: 13).

Die Stadt liegt an der rechten Rheinseite und ist vom Klima des Oberrheingrabens geprägt. Karlsruhe weist milde Winter- und warme Sommermonate auf. Die Durchschnittstemperaturen sinken zwischen November und Februar auf 0-5 °C und betragen zwischen April und Oktober 10-20 °C. Die wärmsten Monate sind Juli (ca. 19 °C) und August (ca. 18,5 °C). (AfStE 2019: 152) Die durchschnittliche Niederschlagssumme beträgt ca. 856 mm; im langjährigen Mittel scheint an 1.609 Stunden im Jahr die Sonne (AfStE 2019: 153). Durch den Klimawandel wird erwartet, dass sich die Temperaturen um +0,8 bis +1,7 °C erhöhen. Die Anzahl der Hitzetage nimmt um bis zu 30 Tagen im Jahr zu. Starkregenfälle werden verstärkter auftreten (AfUA 2013: 34f.).

Das Karlsruher Trinkwasser wird fast komplett aus Grundwasser gewonnen. Die lokale Grundwasserneubildung ist durch wasserdurchlässige Bodenschichten begünstigt und findet hauptsächlich im hydrologischen Winterhalbjahr von November bis April statt. Infolge des Klimawandels wird an heißen Tagen mit erhöhten Spitzenbedarfen gerechnet. Generell werden durch die prognostizierten, erhöhten Winterniederschläge keine Beeinträchtigungen der Trinkwassergewinnung erwartet. (AfUA 2013: 135ff.)

Infrastrukturen der Abwasserentsorgung sollen künftig durch eine nachhaltige Siedlungsentwässerung entlastet werden. Niederschlagswasser soll auf dem Grundstück bewirtschaftet, die Flächenversiegelung minimiert sowie Straßenräume zu temporären Retentionsräumen ertüchtigt werden. Bei Straßenumbaumaßnahmen soll zukünftig auf Gefahren durch Starkregenergebnisse eingegangen werden, indem Flächen entsiegelt, wasserdurchlässige Oberflächenmaterialien verwendet sowie Speicher- und Wasserableitungsflächen geschaffen werden. (AfUA 2013: 138ff.)

4.5.2. Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung „Hitze“

Bedingt durch hohe Versiegelungsgrade in der Karlsruher Innenstadt als auch durch die exponierte Lage im Oberrheingraben werden Wärme- und Hitzebelastungen in Karlsruhe zukünftig zunehmen. Der Rahmenplan ergänzt die Erkenntnisse und Klimaanpassungsstrategien der Stadt im Hinblick auf die fachliche Planung und bei der Abwägung verschiedener Planungsziele

in der Bauleitplanung. Mithilfe des erstellten Rahmenplans sollen Hitzebelastungen in der Stadt nicht weiter verschärft und bestenfalls gemindert werden. Der Fokus des Rahmenplans liegt aus diesem Grund auf dem Thema Hitze.

Im Rahmenplan werden die Hauptherausforderung „Hitzestress“ und die Auswirkungen für Karlsruhe analysiert und eine rechtliche Einordnung des Rahmenplans gegeben. Der Rahmenplan präsentiert verschiedene Einzelmaßnahmen, die in übergeordnete, lokale, gebäudespezifische und ergänzende gesellschaftliche Maßnahmen unterschieden werden. Es werden verschiedene Stadtstrukturtypen mit spezifischen Charakteristika definiert und geeignete Maßnahmen zur Abmilderung von Hitzebelastungen in diesen Strukturen genannt. Mit dem eigentlichen Planwerk schließt der „Städtebauliche Rahmenplan Klimaanpassung“ ab.

Bei der Erstellung des Rahmenplans wurden zuerst die Stadtstrukturen und die örtlichen Belastungen analysiert. Im Vergleich zum ländlichen Umland weist die Karlsruher Innenstadt deutlich höhere Versiegelungsgrade auf. Durch die Lage in einer der wärmsten Region Deutschlands haben Hitzeeffekte eine große Bedeutung für die Stadt. Die Auswirkungen von Hitzeperioden wirken sich unterschiedlich auf das Mikroklima in Stadtquartieren aus und ist unter anderem von der Gebäudestruktur in den Quartieren abhängig. Geschlossene Strukturen mit hohem Versiegelungsgrad wärmen sich stärker auf und speichern die Hitze länger, wodurch diese Strukturen grundsätzlich einer höheren Wärmebelastung ausgesetzt sind. Offene und grüne Strukturen sind einer geringeren Wärmebelastung ausgesetzt. Die bestehenden Gebäudestrukturen haben Auswirkungen auf das örtliche Mikroklima. (StPLA 2015).

Insgesamt lässt sich die Bebauung in Karlsruhe in mehrere Stadtstrukturtypen unterteilen, die in Tabelle 12 dargestellt sind. Die vorherrschenden Charakteristika der Baustrukturen bestimmen dabei die jeweiligen Herausforderungen bzw. verdeutlichen, dass manche Baustrukturen stärker als andere belastet sind.

Tabelle 12: Stadtstrukturtypen in Karlsruhe (StPIA 2015)

Bezeichnung	Charakteristika	Herausforderungen
Geschlossene Blockrandbebauung	„Geschlossene Blockrandbebauung“ kennzeichnet sich durch geschlossene Gebäudeseiten, durch die ein Block nach außen geschlossen ist und sich in der Mitte ein Innenhof ausbildet.	Hohe Versiegelungsgrade und eingeschränkte Durchlüftung durch die Blockrandbebauung begünstigen Hitzeinseln. Versiegelte Innenhöfe können zu Überschwemmungen führen.
Offene Blockrandbebauung	„Offene Blockrandbebauung“ wird durch Blockrandbebauung gekennzeichnet, die meistens einzeln stehen und damit Luftkorridore zwischen den Gebäuden ermöglichen.	Starkregenfälle können zu Überschwemmungen führen. Hohe Versiegelungsgrade begünstigen Hitzeinseln, die durch die bauliche Möglichkeit zur Durchlüftung weniger stark als bei der geschlossenen Blockrandbebauung ausgeprägt ist.
Zeilenbebauung	„Zeilenbebauung“ kennzeichnet typische Nachkriegsbauweisen, bei denen mehrere miteinander verbundene mehrstöckige Wohngebäude in parallelen Zeilen in einem Quartier angeordnet sind.	Hohe Versiegelungsgrade begünstigen Hitzebelastungen und können bei Starkregen zu Überschwemmungen führen.
Ortskern	„Ortskerne“ sind mitunter Jahrhunderte alte Stadt- und Dorfkern von eingemeindeten Umlanddörfern. Die Bebauung ist dicht. Großflächige Parkanlagen sind meistens nicht vorhanden, privates Grün meistens nur in kleiner Form verfügbar. Die Gebietsnutzung ist gemischt mit erheblichem Wohnanteil.	Durch hohe Versiegelungsgrade und die dichte Bebauung sind Ortskerne hitzeanfällig. Bei Starkregenfällen können Überschwemmungen große Schäden bei vielen Privateigentümern verursachen.
aufgelockerte Bebauung mittlerer Dichte	„Aufgelockerte Bebauung mittlerer Dichte“ kennzeichnet sich durch eine lockere Mehrfamilienhausbebauung mit unterschiedlicher Gebäudestellung. Es sind wenig öffentliche Grünflächen vorhanden, private Grünflächen sind durch gemeinschaftlich genutzte Haus- und Mietergärten vorhanden.	Überschwemmungen infolge von Starkregenfällen können auf versiegelten Flächen oder infolge einer Überlastung der Kanalisation auftreten. Hitzebelastungen treten durch den hohen Grünanteil weniger auf.

Bezeichnung	Charakteristika	Herausforderungen
Hochhausgebiete mit überwiegender Wohnnutzung	Über 22 m hohe Wohnhochhäuser sind vereinzelt, teilweise in kleinen Gruppen oder Reihen in geringer Anzahl angeordnet. Umrandet werden die Hochhäuser von größeren privaten Grünflächen mit fließendem Übergang zum öffentlichen Bereich. Parkplätze können sowohl auf versiegelter Oberfläche als auch in Tiefgaragen ausgeführt sein.	Hochhäuser können sich bei langer Sonneneinstrahlung durch ihre exponierte Lage schnell aufheizen.
Großstrukturen	Bei „Großstrukturen“ handelt es sich um hochspezialisierte, großflächige Sonderbauten wie bspw. Krankenhäusern, Universitäten oder Großverwaltungen. Ihre Nutzung ist sehr individuell. Viele Grundstücke weisen große versiegelte Flächen bzw. große Flachdachstrukturen auf.	Hohe Versiegelungsgrade begünstigen Hitzeinseln. Bei Starkregenfällen müssen große Wassermengen schnell abgeleitet werden, um Überschwemmungen zu vermeiden.
Gewerbe	„Gewerbegebiete“ sind bspw. Hallen, Fabrikgebäude und Lager, die großflächig versiegelt sind und wenig Grün aufweisen. Der öffentliche Raum dient oftmals nur der verkehrlichen Anbindung der Grundstücke. Insbesondere dominieren Stellplatz- und Lagerflächen, Grünflächen sind selten.	Hohe Versiegelungsgrade begünstigen Hitzeinseln. Bei Starkregenfällen müssen große Wassermengen schnell abgeleitet werden, um Überschwemmungen zu vermeiden.
Industrie	„Industrie“ ist durch große Industriegebäude und Gebäudekomplexe gekennzeichnet. Öffentlicher Raum existiert lediglich in den Verkehrswegen. Grün- und Freiflächen sind fast nicht vorhanden.	Hohe Versiegelungsgrade begünstigen Hitzeinseln. Bei Starkregenfällen müssen große Wassermengen schnell abgeleitet werden, um Überschwemmungen zu vermeiden.

Im Anschluss an die Analyse der Stadtstrukturtypen und deren Herausforderungen präsentiert der Rahmenplan geeignete Maßnahmen, um Wärmebelastungen mildern zu können. Die vorgestellten Maßnahmen eignen sich nicht uneingeschränkt für alle Stadtstrukturtypen. Tabelle 13 verdeutlicht, welche Maßnahmen bei welchen Stadtstrukturtypen hohe Wirkungsgrade erreichen.

Tabelle 13: Übersicht der geeigneten Maßnahmen in den Karlsruher Stadtstrukturtypen (StPIA 2015: 48)

Stadtstrukturtyp im Rahmenplan vorgestellte Maßnahmen	thematischer Verweis	geschlossene Blockbebauung	offene Blockbebauung	Zeilenbebauung	Ortskern	Mehrfamilienhäuser	Wohnhochhäuser	Großstrukturen	Gewerbe	Industrie
Reduzierung anthropogener Wärmequellen		X							X	X
Gebäuderückbau			X	X						
Entsiegelung	Kap. 3.3.3	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verschattung (Parkflächen)	Kap. 3.3.5	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verschattung (Gebäude-, versiegelte Flächen)	Kap. 3.3.5		X				X	X	X	X
Schaffung kleiner Parkanlagen (sog. Pocket Parks)	Kap. 3.3.4	X	X	X	X	X	X		X	X
Innenhofbegrünung	Kap. 3.3.6	X	X	X	X					
Erhöhung des Oberflächenalbedo		X			X	X	X	X	X	X
Wasserspiele	Kap. 3.3.8	X						X		
begrünte Straßenbahngleise	Kap. 3.3.5	X		X	X	X	X		X	X
energetische Gebäudesanierung		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dachbegrünung	Kap. 3.3.6	X	X	X	X		X	X		X
Fassadenbegrünung	Kap. 3.3.6	X	X	X		X	X	X	X	X
Sommerschutzbau für Gebäude		X	X	X	X	X		X	X	X

Der „Städtebauliche Rahmenplan Klimaanpassung Stadt Karlsruhe“ ist nach § 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB Teil der sonstigen städtebaulichen Planung ein wichtiger Abwägungsgrund in der Bauleitplanung. Damit muss er bei der Erstellung von Bauleitplanungen berücksichtigt werden. Für den Fall, dass die Stadt Karlsruhe ein Sanierungsgebiet oder Stadtumbaumaßnahmen in Folge der neuen Herausforderungen „Hitze“ ausweisen möchte, kann der vorliegende Plan als zugrundeliegende Rahmenplanung gelten.

4.5.3. Bezug des Karlsruher Rahmenplans auf das Konzept der Wasser-Resilienz

Der Städtebauliche Rahmenplan Klimaanpassung „Hitze“ analysiert die langfristige Entwicklung des Klimawandels im Hinblick auf Hitzebelastungen. Die vorgestellten Maßnahmen können die bereits heute auftretende Hitze Problematik mildern. Der Rahmenplan gibt Antwort auf die langfristige Herausforderung „Hitze“ und zeigt Möglichkeiten auf, die Auswirkungen von Hitzewellen durch Ökosystemdienstleistungen der Maßnahmen zu minimieren. Die klimatische Herausforderung des Starkregens und die Anpassung der bestehenden Infrastruktur an wasserbezogene Gefahren werden nicht betrachtet. Des Weiteren führen die Maßnahmen nicht zu einer Entlastung von Abwasserentsorgung oder Trinkwasserversorgung. Somit kann der Rahmenplan nicht als wasser-resilient betrachtet werden.

Einige Maßnahmen aus Tabelle 13 konnten den vorgestellten Einzelmaßnahmen aus Kap. 3.3 zugeordnet und erfüllen die Kriterien der Wasser-Resilienz. Dies kann als Indiz gewertet werden, dass die Auswahl der Einzelmaßnahmen auch Hitzebelastungen mildern kann. Auch wenn der Karlsruher Rahmenplan nicht den Wasser-Resilienz-Zielen entspricht, ist insbesondere die schablonenhafte Analyse des Stadtgebiets positiv aufzugreifen. Diese kann von Interessierten auf viele Objekte in Karlsruhe übertragen werden. Im Hinblick auf die zu erstellende Arbeitshilfe kann ein solches Vorgehen empfehlenswert sein.

5. Erkenntnisse aus qualitativen Befragungen

Die Erkenntnisse aus Literatur und den vorgestellten Konzepten sollen durch Experteninterviews vertieft werden. Die interviewten Expertinnen und Experten sollen eine praktische Einschätzung der bisher in der Theorie erarbeiteten Thematik liefern. Aus den Experteninterviews sollen außerdem Erkenntnisse für den Aufbau und die Gestaltung der Arbeitshilfe gezogen werden.

5.1. Methodik und Vorgehensweise bei Experteninterviews

Leitfadengestützte Experteninterviews sind nach Baur/Blasius (2019a) und Yin (2014) geeignete Methoden zum qualitativen Erkenntnis- und Informationsgewinn. Einzelne Interviews können von der subjektiven Meinung der interviewten Person beeinflusst werden, sodass erst die Kombination aus mehreren Interviews einen qualitativen Mehrwert bringen. Bei der Durchführung mehrerer Interviews können die gewonnenen Erkenntnisse wertvolle Hinweise für praktische Anwendungen geben. (Baur/Blasius 2019b; Yin 2014)

Hering/Jungmann (2019) und Kaiser (2014) empfehlen Experteninterviews mit einem Leitfaden bzw. Fragebogen zu strukturieren. Dieser Leitfaden kann Erzählaufforderungen, explizite Fragestellungen sowie Stichworte für freiformulierbare Fragen beinhalten. Durch die verschiedenen Stilmittel wird dem Interview eine Struktur gegeben und gleichzeitig eine offene Gesprächsatmosphäre ermöglicht. Durch den Leitfaden tritt der Interviewer strukturiert, kompetent und professionell auf. Ein Abweichen vom Fragebogen kann situativ erfolgen, wodurch auf den Experten zugeschnitten verschiedene Schwerpunkte gesetzt werden können. Für die Erstellung des Fragebogens empfehlen sich die „allgemeine[n] Kriterien für die Konstruktion eines Leitfadens“ nach Ullrich (1999).

Für die anschließende Analyse des Inhalts der geführten Experteninterviews empfiehlt sich die Aufzeichnung des Gesprächs und im Anschluss dessen Transkription. Hierdurch wird sichergestellt, dass keine Informationen aus dem Gespräch verloren gehen. Anhand der Transkription kann die qualitative Inhaltsanalyse erfolgen. Hierzu sollten Interviewpassagen mit interessantem Inhalt anhand von Kategorien strukturiert werden, um sie verschiedenen Themen leichter zuordnen zu können. Es ist zu beachten, dass bei nicht-allgemein gültigen Aussagen, die Rahmenbedingungen und Einschränkungen der Aussage nachvollziehbar dargestellt wird. (Hering/Jungmann 2019; Kaiser 2014; Mayring 2016)

5.2. Auswahl und Inhalte der Expertengesprächen

Um ein betrachtetes Themengebiet mit Expertengesprächen zu ergänzen, empfiehlt Eisenhardt (1989: 545) das Gespräch mit 4 bis 10 Experten. In dieser Größenordnung ist die Nutzen-Aufwand-Relation vertretbar, ohne dass sich Erkenntnisse doppeln oder Aussagen aufgrund von subjektiven Einschätzungen nicht verallgemeinerbar sind. (Hering/Jungmann 2019)

Gläser/Laudel (2010: 113) definieren Kriterien, anhand derer sich Experten für ein Interview empfehlen. Experten müssen über relevante Informationen verfügen, die Fähigkeit besitzen, diese präzise vermitteln zu können. Außerdem müssen sie die Bereitschaft zum Teilen der Informationen haben und zeitlich verfügbar sein. Für die Akquise von Experten sollte das Anliegen eindeutig umrissen, die geplante Gesprächsdauer definiert und der Umgang mit persönlichen Daten erläutert sein. Es ist von großer Bedeutung darzulegen, dass alle persönlichen Daten und die gegebenen Informationen vertraulich behandelt und anonymisiert verwendet werden. Die anonymisierte Verwendung der gewonnenen Informationen garantiert, dass Experten Wissen uneingeschränkt und ohne Vorbehalte bereitstellen. (Kaiser 2014)

Für die vorliegende Untersuchung wurden sechs Experteninterviews geführt. Die Experten wurden mit dem in Anhang I dargestellten Anschreiben gewonnen. Acht Personen wurden für Experteninterviews angefragt. Zwei Anfragen wurden mit einer Absage beantwortet. Zu Beginn der Experteninterviews wurde mit den Interviewpartnern der Umgang mit den gewonnenen Daten vereinbart. Die Interviewpartner willigten mit der Einwilligungserklärung (Anhang II) zur Teilnahme an den Interviews ein. Die Interviewdauer lagen bei ca. 45-60 Minuten bzw. bei ca. 90-120 Minuten (Experte SPA) und wurde mit einem Fragebogen strukturiert. Der Fragebogen ist in Anhang III abgebildet.

Einzelne Aussagen werden den in Tabelle 14 vorgestellten Kategorien zugeordnet. Die Kategorien sind an die Frageblöcke des Gesprächsleitfadens angelehnt. Passagen aus den Expertengesprächen werden mit dem jeweiligen Experten Kürzel gekennzeichnet (Beispiel: AWW).

Tabelle 14: Kategorien in der Inhaltsanalyse, die zur Auswertung der Expertengespräche verwendet werden

Zeichen	Kategorie	Zitatbeispiel
H	Herausforderung durch den Klimawandel	„Die Herausforderungen sind im Grunde, dass man verstärkt mit Trockenperioden und mit Verschiebungen der Niederschläge zwischen Sommer und Winter zu rechnen hat.“ (AWW)
W	Wasser-Resilienz	„Wir benutzen Wasser-Resilienz in dem Sinn, dass wir die Sicherheit der Wasserversorgung beschreiben. Eine wasser-resiliente Versorgung heißt, dass wir heute und auch zukünftig immer und überall die Mengen Wasser zur Verfügung stellen können.“ (GTW)
V	Vorgehensweise zur Klimaanpassung (bspw. durch das Nutzen von Leitfäden)	„Da haben wir Erfahrung gemacht, die früher und je verständlicher die Landschaftsplaner und die Stadtplaner Maßnahmen und Möglichkeiten auf dem Tisch haben und das auch verstehen.“ (SPA)
M	Maßnahmen, die zur Klimaanpassung und Erhöhung der städtischen Wasser-Resilienz beitragen können	„Betriebswasser für die Eigennutzung, glaube ich, auf jeden Fall, das brauchen wir. [...] Im Neubau halte ich es ohnehin richtig und sinnvoll, jetzt schon irgendwie auch Grau- und Regenwasser separat zu erfassen und mit Betriebswasser zu arbeiten.“ (BGI)
A	Hinweise und Anregungen zur Erstellung der Arbeitshilfe	„Sie sollten möglichst schnell die Fakten übersichtlich und klar strukturiert erkennbar sein. Wer angesprochen werden soll, sollte relativ früh und klar rauskommen, denke ich. Das sind so die wichtigen Punkte. Je länger so ein Leitfaden wird und noch mehr Unterkapitel kriegt, desto seltener oder größer ist die Gefahr, dass er nicht in der Tiefe gelesen wird“. (SPA)

5.2.1. Städtische Planungsbehörde Stadtentwässerung – Experte SPA

Der Experte SPA arbeitet in einer süddeutschen Großstadt in der Stadtplanung. Experte SPA ist im Bereich Stadtentwässerung tätig und begleitet Planungen im Bereich Neubau sowie Sanierungen in Bestandsgebieten und von Verkehrsflächen. Schwerpunkt in den Planungsarbeiten ist die Entlastung der vorwiegend existierenden Mischwasserkanalisation. Die Stadt, in der Experte SPA tätig ist, hat mehrere Klimaschutzpläne und Klimaanpassungsstrategien erstellt und weiterentwickelt. In diesen sind Strategien zur Abmilderung von Folgen von Hitzeperioden und

Starkregenfällen skizziert. Für die vorliegende Arbeit empfiehlt sich Experte SPA durch das vorhandene Fachwissen in der Stadtentwässerung. Die Stadt nimmt bei Planungsarbeiten existierende Leitfäden, insbesondere die publizierte Arbeitshilfe des Forschungsprojekts MURIEL (Benden et al. 2017), zur Hand. Das Expertengespräch fand am 19.08.2020 statt.

Die Stadt, für die Experte SPA in der Stadtentwässerung tätig ist, Stadt verfügt über ein sehr großes Grundwasservorkommen, aus dem Trinkwasser gefördert wird. Die Grundwasserneubildungsrate liegt höher als die Trinkwasserfördermenge. Das Abwassernetz ist größtenteils im Mischsystem gebaut, lediglich in den Außenbereichen gibt es Trennsysteme.

Experte SPA sieht die zukünftigen Herausforderungen für seine Stadt in den Auswirkungen von Hitzewellen, die im Stadtgebiet verstärkt zu Hitzeinseln fühlen können, und im Schadenspotenzial von Starkregenfällen. Insbesondere im Innenstadtbereich sei die Gefahr von Überschwemmungen bei Starkregen durch den hohen Versiegelungsanteil gegeben. (H-SPA) Die Trinkwasserversorgung ist hingegen langfristig aufgrund des großen Grundwasservorkommens gesichert. Auch gibt es keine Bestrebungen Betriebswassernutzung zu fördern, da ansonsten der Trinkwasserversorger Überkapazitäten im Anlagen- und Leitungsbereich hätte. (M-SPA)

Um die Gefahr von Überschwemmungen im Starkregenfall zu minimieren, wird primär auf Regenwasserbewirtschaftung gesetzt. Durch den großen Abstand zum Grundwasser und die anstehenden Bodenschichten, die allesamt gute Versickerungseigenschaften aufweisen, ist Versickerung die primäre Bewirtschaftungsmethode. (M-SPA) Die Regenwasserbewirtschaftung wird bei Neubauten von der Stadtverwaltung vorgegeben. Eigentümer von Bestandsgebäuden werden über die geteilte Abwassergebühr, bei der für abzuführendes Niederschlagswasser eine höhere Gebühr zu entrichten ist, zu Entsiegelungs- und Versickerungsmaßnahmen animiert. (M-SPA, V-SPA)

Versiegelte Flächen, die der öffentlichen Hand gehören, werden nicht aktiv umgebaut, um Überschwemmungen im Starkregenfall zu vermeiden bzw. Hitzebelastungen abzumildern. Bei regulären Sanierungsmaßnahmen wird bei Planung auf verbesserte Konzepte geachtet, wie beispielsweise Versickerungsmulden, Baumpflanzungen zur Verschattung, wasserdurchlässige Parkflächen. (V-SPA) Im Hinblick auf Starkregen wird bei Planungen auf die Ausrichtung des Straßengefälles geachtet bzw. die Straße so dimensioniert, dass sie notfalls einen Notwasserweg darstellt (M-SPA).

Experte SPA ist der Meinung, dass insbesondere die informelle Planungsphase für die Integration von Maßnahmen zur Klimaanpassung geeignet ist (V-SPA). Dort seien die Planungen noch nicht so weit fortgeschritten, sodass Vorgaben der Stadtentwässerung in die Gebietsgestaltung berücksichtigt werden können. Ein klassisches Beispiel hierfür seien multifunktionale Retentionsflächen, bei denen Versickerungsmulden ansprechend in Grünzüge integriert sind. (M-SPA)

Experte SPA arbeitet in der Stadtplanung mit Leitfäden und sieht in einem Leitfaden zur wasserresilienten Stadt Potential. Ein Leitfaden sollte in seinen Augen verständlich aufgebaut und die Zielgruppe muss klar definiert sein. Ein Leitfaden muss kurz und kompakt sein, damit er in der praktischen Arbeit verwendet werden kann. Verweise auf Normen oder weitere Strategien sind erwünscht und ausreichend. Im Bereich der Stadtentwässerung muss ein Leitfaden interdisziplinär verstanden werden können. Am besten sei dies möglich, wenn Einzelmaßnahmen gut visualisiert und leicht verständlich vorgestellt werden. In diesem Zusammenhang sollten auch die Vorteile von Einzelmaßnahmen gegen Hitzeinseln oder Starkregen kenntlich gemacht werden. (A-SPA)

5.2.2. Städtisches Referat Wasserwirtschaft, Trinkwasser, Abwasser – Experte AWW

Der Experte AWW leitet das Referat einer norddeutschen Großstadt, das sich mit der örtlichen Wasserwirtschaft, Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung beschäftigt. Experte AWW und das gesamte Referat verantworten schwerpunktmäßig die Bereiche Gewässerschutz, Gewässergüte, Oberflächen- und Grundwasserschutz, Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung und den Schutz vor Hochwasser und Sturmfluten. Die Stadt verfügt über Gutachten zu prognostizierten Klimaherausforderungen sowie Klimaschutz- und -anpassungspläne. Das Expertengespräch mit Experte AWW fand am 17.09.2020 per Videotelefonie statt.

Der Klimawandel führt in der betrachteten Großstadt zu einer generellen Verstärkung der Trockenperioden und einer Verschiebung der Niederschlagsphasen in den Winter. Neben Wärme- und Hitzebelastungen im Sommer treten auf Starkregenereignisse verstärkt in den warmen Sommermonaten auf. Probleme mit der Trinkwasserversorgung sieht Experte AWW nur in Spitzenlastfällen. Im Allgemeinen erwartet er eine Verknappung der Wasserverfügbarkeit, wenn Grundwasserstände weiter sinken. Eine verringerte Wasserverfügbarkeit ist kein drängendes Problem, sondern wird die Stadt frühestens in „Jahrzehnten bzw. ‚irgendwann‘ beschäftigen“. (H-AWW)

Experte AWW verwendet für Planungen eine Arbeitshilfe zur wassersensiblen Planung von Stadtinfrastrukturen. Die Arbeitshilfe analysiert Flächen, die bei einem Starkregenereignis überflutungsgefährdet sind. Das Risiko, das mit dem Ausfall dieser Infrastrukturen einhergeht, soll durch eine wassersensible Umgestaltung verhindert werden. Einen aktiven Umbau dieser vulnerablen Infrastrukturen gibt es aufgrund fehlender Finanzierungsprogramme nicht. Maßnahmen der wassersensiblen Stadtgestaltung werden bei laufenden Planungen mitgeplant und umgesetzt. Dies wird mittlerweile dadurch garantiert, dass das Referat als Träger öffentlichen Belangs gilt und somit Stellungnahmen zu Planungsverfahren abgeben kann. (V-AWW)

Den Erfolg mit der genutzten Arbeitshilfe sieht Experte AWW in drei Bereichen: Zum einen zeigt die Analyse Gefährdungsbereiche auf, wo Handlungsbedarf besteht und mit erhöhter Aufmerk-

samkeit geplant werden muss (A-AWW). Die Akzeptanz der Arbeitshilfe wurde am Anfang insbesondere durch vorgestellte Best Practice-Beispiele erhöht, da Interessenten sehen konnten, dass „wassersensible Planung [wirklich] funktioniert“. (V-AWW) Für die Verwaltung und die verschiedenen Fachplanungen ist insbesondere der vorgestellte Instrumentenkasten sehr hilfreich und empfehlenswert. Dieser erklärt, mit welchen bestehenden Möglichkeiten wassersensible Maßnahmen in der Bauleitplanung festgesetzt werden können. Hierdurch habe sich die Rechtssicherheit und die Bereitschaft erhöht, wassersensible Einzelmaßnahmen bei Planungen zu berücksichtigen. (A-AWW) Mittlerweile hat sich die Arbeitshilfe etabliert, sodass Investoren und Bauinteressierte wassersensible Merkmale direkt in Planungen integrieren. (V-AWW)

Die Arbeitshilfe stellt verschiedene Einzelmaßnahmen zur wassersensiblen Planung vor. Insbesondere der Einsatz von Dachbegrünung lasse sich laut Experte AWW in die Planungen integrieren. Eine Herausforderung ist die Integration von Retentionsräumen im öffentlichen Raum. Bei allen multifunktionalen Retentionsflächen, die in Grünanlagen, auf dem Straßenraum oder bei begrünten Straßenbahngleisen vorhanden sein können, gibt es Schwierigkeiten bei der Zuordnung von Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten für die Unterhaltung der Flächen. Diese sind laut Experte AWW in Gesprächen lösbar. Sowohl bei multifunktionalen Retentionsräumen als auch bei Straßenbegleitgrünmaßnahmen müssen Grünflächen direkt mit Planungsbeginn geplant werden, um den Aufwand für die zusätzliche Planung gering zu halten. (M-AWW)

Experte AWW sieht die Notwendigkeit zur Bewässerung von Stadtgrün in den Sommermonaten. Hierfür sollte kein Trinkwasser verwendet werden; gesammeltes Niederschlagswasser sei für die Bewässerung zu bevorzugen. Die Stadt sei noch nicht in der Lage großflächig Niederschlagswasser zu speichern und für die Bewässerung zu nutzen. Experte AWW hofft in diesem Zusammenhang auf positive Ergebnisse eines kommenden Pilotprojekts. Darüber hinaus wird versucht, in bestehenden Grünplanungen unterirdische Zwischenspeicher direkt zu integrieren, um den Aufwand für eine aktive Bewässerung von Stadtgrün zukünftig zu verringern. (M-AWW)

5.2.3. Trinkwasserverteilung – Expertin VTW

Die Expertin VTW arbeitet bei einem regionalen Energieversorger. Der Hauptsitz des Unternehmens liegt in einer der fünf größten Städte Deutschlands und beliefert ca. 1 Mio. Kunden u.a. mit Trinkwasser. Die Kunden des Unternehmens sind sowohl Privat- als auch Firmenkunden. Die Absatzmenge ist über die vergangenen Jahre leicht ansteigend gewesen und beläuft sich auf knapp 50 Mio. m³ Trinkwasser. Der Energieversorger bezieht das Trinkwasser von einem Vorlieferanten und verantwortet die Versorgung der Endkunden.

Das Expertengespräch mit der Expertin VTW wurde am 27.07.2020 telefonisch geführt. Expertin VTW arbeitet schwerpunktmäßig in der Unternehmensnachhaltigkeit und verfügt über Expertise im Bereich Klimawandel und den daraus resultierenden Herausforderungen für das Gesamtunternehmen.

Expertin VTW sieht zukünftige Herausforderungen für Trinkwasserversorger insbesondere im Substanzerhalt des Infrastrukturnetzes. Durch die starke Regulierung bei der Preisbildung liegt die Priorität auf der Ausbesserung von Leckage sowie Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen zum Substanzerhalt. (H-VTW, V-VTW) Problematisch seien Überhitzungen im Verteilernetz durch erhöhte Bodentemperaturen für die Qualität des Trinkwassers bisher nicht gewesen. Das Unternehmen ergreife Maßnahmen, um Stagnationen und Qualitätseinbußen im Netz zu verhindern. Diese entstehen durch den Rückgang des spezifischen Wasserbedarfs, wodurch Netzleitungen zu groß dimensioniert sind und das Trinkwasser zu stagnieren droht. (H-VTW).

Großflächige Maßnahmen zur Klimaanpassung oder die Entwicklung von Konzepten zum vermehrten Einsatz von Betriebswasser sind bei dem Unternehmen nicht geplant. Expertin VTW unterstreicht den Nutzen von Betriebswasser. In Regionen, in denen die Rohwasserverfügbarkeit infolge des Klimawandels sinkt, sieht Expertin VTW die Möglichkeit zur Nutzung von Betriebswasser. Hierzu wäre es interessant, Konzepte zu erarbeiten und den Einbau der Betriebswassersysteme in Neubauten finanziell zu unterstützen. (M -VTW)

5.2.4. Trinkwasserversorgung – Experte GTW

Experte GTW arbeitet bei einem der größten überregionalen Fernwasserversorger Deutschlands. Das Unternehmen verantwortet Gewinnung, Aufbereitung, Transport und Speicherung des Trinkwassers bis zur Übergabe an die örtlichen Versorgungsbetriebe. Die Trinkwasserabgabe lag 2019 im unteren dreistelligen Millionen Kubikmeterbereich. Das Unternehmen fördert sein Trinkwasser vornehmlich aus Grundwasserressourcen. Es betreibt knapp zwei Dutzend Wasserwerke, die über das Verbandsgebiet verteilt sind. Vereinzelt wird auch Quellenwasser gefasst. Darüber hinaus bezieht es von Vorlieferanten ca. 40 % der jährlichen Trinkwasserabgabe. Der Großteil des geförderten Rohwassers stammt aus Grundwasserquellen, für dessen Wiederanreicherung auch das Unternehmen zuständig ist. Es wird erwartet, dass durch das wirtschaftliche und demographische Wachstum der Versorgungsregion, in der Experte GTW arbeitet, die Trinkwasserabgabe ansteigen wird.

Das Expertengespräch mit Experte GTW wurde am 18.09.2020 per Videotelefonie geführt. Experte GTW arbeitet aktuell schwerpunktmäßig in der Wasserwirtschaft und ist u.a. für die Sicherstellung von Trinkwasserqualität und -quantität sowie als Vertretung für die Betriebsleitung zuständig. Davor war Experte GTW Betriebsleiter mehrerer Wasserwerke und für große Baumaßnahmen im Versorgungsgebiet zuständig.

Die Herausforderungen für die gesicherte Trinkwasserversorgung in der Zukunft bestehen weniger im Klimawandel, sondern sind im Bereich der Bevölkerungsentwicklung zu finden. Durch das Bevölkerungswachstum in der Region erhöht sich der Trinkwasserbedarf. Folgen des Klimawandels, wie bspw. ein größerer Bewässerungsbedarf im Sommer, wirken sich nur auf den Spitzenwasserbedarf aus. Die größten Herausforderungen bestehen für Trinkwasserversorger vor allem zu Tageszeiten, an denen der Tagesspitzenbedarf nachgefragt wird. Hier sind Kapazitätsengpässe im Leitungsnetz denkbar, die momentan durch Sanierungsmaßnahmen und den Aufbau neuer Speicher bzw. der Ertüchtigung bestehender Wasserwerke abgemildert werden. Experte GTW betont, dass die Trinkwasserversorgung aktuell durch die technischen Kapazitäten der Versorgungsinfrastruktur und nicht durch eine allgemeine Rohwasserknappheit limitiert wird. Dies gilt nicht uneingeschränkt für alle Trinkwasserversorger, da die Wasserversorgung immer von den örtlichen Rahmenbedingungen abhängig ist. (H-GTW)

Prinzipiell sei der Einsatz von Betriebswasser zur Substitution von Trinkwasser und damit zur Entlastung der Trinkwasserversorgung denkbar. Experte GTW steht einer flächendeckenden Betriebswassernutzung dennoch skeptisch gegenüber. Die Umstellung auf eine flächendeckende Betriebswassernutzung sei ein langfristiger Aufbau, die sehr hohe Investitionssummen benötigt. Als Voraussetzung dafür sieht Experte GTW die Notwendigkeit, dass die Umrüstung auf Betriebswasser finanziell von staatlicher Seite unterstützt werden soll. Die aktuellen Herausforderungen, vor denen Trinkwasserversorger stehen, kann durch eine flächendeckende Betriebswassernutzung nicht abgemildert werden. Zum einen muss für den Löschwasservorhalt und die Notspeisung der Betriebswasseranlagen ein Großteil der bestehenden Wasserinfrastrukturen – insb. Wasserwerke und Leitungen – vorgehalten werden, zum anderen sind die Ersparnisse in benötigtem Wasservolumen und dem für die Versorgungssicherheit notwendigen Leitungsdruck durch eine Betriebswassernutzung marginal gering, sodass der Trinkwasserversorger keine große Entlastung erfährt. In diesem Zusammenhang verweist Experte GTW auf das Solidarprinzip in der Wasserpreisgestaltung. Trinkwasser könnte durch die Nutzung von Betriebswasser deutlich teurer werden als bisher, weil die angesprochenen Wasserinfrastrukturen größtenteils identisch zur heutigen Situation betrieben werden müssten. Da durch eine flächendeckende Betriebswassernutzung weniger Trinkwasser verbraucht werden würde, würde der anteilige Trinkwasserpreis durch den hohen Fixkostenanteil steigen. (M-GTW)

Eine schrittweise Umstellung des aktuellen Trinkwasserversorgungssystems auf eine parallele Betriebswassernutzung hält Experte GTW für nicht praktikabel. So machten Neubaugebiete, die bei Baubeginn direkt mit einer Betriebswassernutzung ausgestattet werden, keinen entscheidenden Unterschied für die bereitzustellende Wassermenge. Des Weiteren sei ein verpflichtender Einsatz von Betriebswasserinstallationen durch die Kommunen nur mit erhöhtem Aufwand überprüfbar. Ein möglicher Umbau im Bestand ist durch die lange Lebensdauer von Hausinstallationen wirtschaftlich nicht umsetzbar und insbesondere bei Mehrfamilienhäusern praktisch unmöglich, da die verschiedenen Wohneinheiten nicht gemeinsam saniert werden, wodurch die Integration eines doppelten Leitungsnetzes unmöglich erscheint. (M-GTW)

Die Bewässerung von Stadtgrün hält Experte GTW auch in Sommermonaten für sehr wichtig. Insbesondere mit Hinblick auf die Kühlungseffekte des Stadtgrüns sei auch eine Bewässerung mit Trinkwasser aus gesamtgesellschaftlichen Gründen für angemessen. Auch hier unterstreicht Experte GTW die Schwierigkeit, Bewässerung auf Betriebswasser umzustellen, da momentan große Speichermöglichkeiten für Niederschlagswasser bzw. Strukturen für die Flusswassernutzung fehlen und die Investitionen aufgrund der limitierten Budgets der zuständigen Ämter nicht finanziert werden können. Eine Grauwassernutzung, bei der Grauwasser aus Privathaushalten für städtische Bewässerung genutzt wird, sei ausgeschlossen, da diese lediglich im privaten Bereich umsetzbar sei. Des Weiteren würde eine Bewässerung mit Niederschlags- oder Flusswasser die aktuellen Herausforderungen von Trinkwasserversorgern nicht mildern. So werden Stadtanlagen überwiegend morgens bewässert, während Trinkwasserversorger die Spitzenlasten im Wasserverbrauch abends verzeichnen. (M-GTW)

5.2.5. Forschung zur klimaangepassten Stadtentwicklung – Experte BGI

Experte BGI arbeitet bei einer renommierten Forschungsgesellschaft in einer Millionenstadt, die langjährige Erfahrung in diversen Forschungsprojekten zu Stadtentwicklung, urbanen Infrastrukturen, Mobilität, Umwelt und weiteren kommunalen Themenfeldern hat. Experte BGI forscht seit vielen Jahren zur urbanen Infrastruktur, ihren Herausforderungen und Transformationsprozessen u.a. mit Schwerpunkt auf die Transformation bestehender Wasserinfrastruktursysteme. Durch seine Forschungstätigkeit verfügt Experte BGI über Fachwissen zu Resilienz, dem Einsatz von blau-grün-grauer Infrastrukturen und Betriebswassernutzung. Das Expertengespräch mit der Experte BGI wurde am 08.09.2020 per Videotelefonie geführt.

Als eine besondere Herausforderung für seinen Wohnort schätzt Experte BGI die nachhaltige Trinkwasserversorgung sowie Starkregenfälle ein. Die Stadt versorge sich mit den vorhandenen Grundwasservorkommen sowie Uferfiltration. Bedingt durch die geographische Lage sei es eher trockener und es wurde insbesondere im Zuge der extrem trockenen Jahre 2018 und 2019 festgestellt, dass eine gesicherte Trinkwasserversorgung aus landeseigenen Ressourcen herausfordernd wird. Darüber hinaus ist der hohe Versiegelungsanteil in Kombination mit Mischkanalsystemen in der Innenstadt insbesondere bei Starkregenfälle überlastet, sodass es zu Überschwemmungen und umwelttechnischen Belastungen des Fließgewässers kommt, wenn No-Überläufe das Mischkanalsystem entlasten. (H-BGI)

Neben den bereits getroffenen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, bei denen die Stadt bereits jahrzehntelange Erfahrungen gesammelt hat, müssten weiterhin Niederschlagsmengen zurückgehalten werden, um die Kanalisation im Starkregenfall nicht zu überlasten. Die hierfür benötigten Flächen stehen unter großem, konkurrierenden Nutzungsdruck bspw. für Verkehrs-, Erholungs- und Wohnzwecke. (H-BGI)

Großes Potenzial für die Integration neuartiger, grüner Ideen in die bestehende Infrastrukturplanung sieht Experte BGI vor allem in der informellen Vorplanungsphase. Es sei zwar wünschenswert, dass blau-grüne Elemente in der Bauleitplanung bereits formal beschlossen und festgeschrieben werden, jedoch sieht Experte BGI hierfür keine realistische Chance und bezweifelt die Effektivität in der Umsetzung der Vorgaben bzw. die Fähigkeit von Kommunen, eine Umsetzung zu überprüfen. Erfolgsversprechender ist in seinen Augen der Ansatz in der informellen Vorplanungsphase, um die verschiedenen Akteure von den Elementen und ihrem Nutzen zu überzeugen. (V-BGI)

Zur besseren Gestaltung dieser informellen Vorplanungsgespräche können Materialien, in denen Maßnahmen vorgeschlagen werden, wie bspw. Broschüren, Leitfäden, Infokarten, hilfreich sein. Positive Erfahrungen machte Experte BGI mit der Definition gemeinsamer Planungsziele, um dadurch die Anzahl möglicher Einzelmaßnahmen zu reduzieren. (A-BGI, V-BGI) Dabei sollten Leitfäden nicht abschließende Vorgehensweise, sondern als Anregung verstanden werden. Städtische Planungen seien insbesondere im Zusammenhang mit neuartigen Innovationen nicht linear, sodass ein linearer, in mehrere Schritte untergliederter Leitfaden eine falsche Planungswirklichkeit vermittelt. Er rät davon ab, einen Leitfaden linear, ohne Rückschleifen zu gestalten, da dieser die Planungspraxis nicht realistisch abbildet. Eine zu hohe Komplexität im Leitfaden wirkt nutzungshemmend. Stattdessen sieht Experte BGI das Potenzial von guten Leitfäden darin, Ideen und Anregungen für weitere Diskussionen zwischen den beteiligten Akteuren zu vermitteln. (A-BGI)

In der Analyse der vorherrschenden Kaltluftbahnen sieht Experte BGI die Grundlage für eine zukunftsorientierte Stadtgestaltung. Wichtig sei, die für hoch-versiegelte Stadtbereiche wichtigen Kälte- und Frischezufuhr mindestens im Status-Quo zu erhalten. (A-BGI) Experte BGI hält es für unumgänglich, zukünftig Dächer, Fassaden und Innenhöfe zu begrünen sowie zumindest im häuslichen Bereich Betriebswasser zu nutzen. Gebäudebegrünung würde auch an Hitzetagen den Aufenthalt im Wohnbereich angenehmer gestalten. Die aktuell vorherrschende Skepsis und auch der Mehraufwand durch die Grünpflege seien überwindbar. Dagegen glaubt Experte BGI nicht an einen flächendeckenden Einsatz von Betriebswasser. In neuzubauenden Gebieten hält er die separate Erfassung von Grau-, Regen- und Schwarzwasser sowie deren Nutzung als Betriebswasser für richtig und sinnvoll. (M-BGI)

5.2.6. Immobilienwertermittlung – Experte IBW

Experte IBW ist seit über 20 Jahren in der Immobilienbewertung tätig und bewertet Wohn- und Gewerbeimmobilien für Banken. Experte IBW begutachtet vor allem Immobilien in Deutschland, dabei mehrheitlich in Norddeutschland, und vereinzelt im europäischen Ausland. Seit mehr als fünf Jahren ist Experte IBW Honorarprofessor an Hochschulen in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern und leitet dort Kurse zur Immobilienbewertung. Das Expertengespräch mit Experte IBW wurde am 07.10.2020 per Videotelefonie geführt.

Im Hinblick auf den Klimawandel sind Immobilieneigentümer aktuell bestrebt, die Energieeffizienz ihrer Gebäude zu erhöhen. Insbesondere durch die zu erwartende CO₂-Abgabe, die in Teilen nicht umlagefähig sein soll, entstehen dem Gebäudeeigentümer hohe Kosten. Hitzebelastungen sind für Immobilienbesitzer aktuell ein geringer Grund, Anpassungsmaßnahmen an ihren Gebäuden vorzunehmen. Insbesondere in guten Lagen sei der Wertverlust durch erhöhte Hitzebelastungen im Sommer vernachlässigbar. Anders schätzt Experte IBW die Situation im Zusammenhang mit Überschwemmungen ein: Überschwemmungen verursachen große Schäden am Gebäude, weswegen Immobilienbesitzer Überschwemmungsrisiken verringern wollen. Die Lage an kleinen Bächen, Rinnsälen oder Orten, an denen es in der Vergangenheit durch Intensiv- oder Starkregen zu Überschwemmungen kam, wirken wertmindernd auf die Immobilien ohne vorhandene Schutzmaßnahmen. (H-IBW)

Grundsätzlich bescheinigt Experte IBW den vorgestellten Einzelmaßnahmen Potenzial, Klimawandelfolgen zu reduzieren. Eine Umsetzung von Einzelmaßnahmen an Gebäuden erhöht nicht den Immobilienwert. Oftmals sind hohe Investitions- und unbekannte Folgekosten der Maßnahmen Hemmnisse, diese nicht umzusetzen. Experte IBW betont, dass Maßnahmen zur Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen erstrebenswert sind. Diese wirken sich auf die Wohnqualität für die Mieter aus. Begrünte Innenhöfe stehen in Flächenkonkurrenz zu anderen Nutzungen, wie bspw. Parkplatzflächen oder Nachverdichtungsmaßnahmen, die beide wertsteigernd für das betrachtete Grundstück wären. (M-IBW)

Die Einzelmaßnahmen „Gebäudebegrünung“ und „Betriebswasser“ sind laut Experte IBW im Bestand nicht realistisch umsetzbar, da hier die Investitionskosten nicht finanzierbar sind. Bei Neubauten kann sich Experte IBW die Realisierung vorstellen. Auch hier sieht er keinen wertsteigernden Vorteil für Immobilieneigentümer. Die Integration von Betriebswassersystemen in Neubauten könnten Immobilieneigentümer durch die geringeren Zusatzkosten aufgrund einer intrinsischen Motivation umsetzen. Insbesondere bei neu zu entwickelnden Stadtteilen und Neubaugebieten habe ein wasser-resilientes Gesamtkonzept großes Potenzial. (M-IBW)

Im Allgemeinen räumt Experte IBW dem Konzept „Wasser-Resilienz“ eine nachgeordnete Bedeutung im Bereich der Immobilienbranche ein. Er empfiehlt, eine Arbeitshilfe kurz und prägnant zu gestalten. Eine ansprechende Optik und Verweise für Detailplanungen sind immer wünschenswert. Einen Einsatz dieser Arbeitshilfe in der Praxis bezweifelt er. Insbesondere im Alltagsgeschäft von Immobiliengesellschaften sei die nachträgliche Integration von wasser-resilienten Maßnahmen nicht realistisch. Größeren Nutzen, der wiederum positive Rückwirkungen auf Immobilienwerte haben können, sieht Experte IBW bei Sanierungs- und Umbaumaßnahmen im öffentlichen Raum. (A-IBW)

5.3. Erkenntnisse der geführten Experteninterviews

Nach Durchführung der sechs Experteninterviews hat sich ergeben, dass der ausgearbeitete Fragebogen eine geeignete Grundlage für die Gesprächsführung war. Die Fragebögen wurden auf die Tätigkeitsschwerpunkte der interviewten Experten angepasst. Dadurch konnten verschiedene Aspekte bei der Durchführung des Gesprächs gesetzt werden. Trotz der unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche der Experten haben sich viele ähnliche Aussagen und wenige unterschiedliche Sichtweisen ergeben. Im Folgenden werden diese Auffälligkeiten zusammengefasst und gegenübergestellt.

Die Herausforderungen, die sich durch den Klimawandel für städtische Infrastrukturen ergeben, haben fünf der sechs Experten identisch bewertet. Wärme- und Hitzebelastungen treten in Verbindung mit hoher Versiegelung auf. Die Entstehung von Hitzeinseln tritt insbesondere im hochversiegelten Innenstadtbereich auf. (H-SPA, H-AWW, H-BGI) Für Immobilien sieht Experte IBW insbesondere bei der energetischen Sanierung eine große Herausforderung. Hitzebelastungen sind für Immobilieneigentümer nachrangig. (H-IBW)

Die zweite große Herausforderung wird im vermehrten Auftreten von Starkregenereignissen gesehen. Überlastungen der Abwasserentsorgungsanlagen, insbesondere der Kanalisation im Mischwassersystem, können zu Überschwemmungen und Nutzungseinschränkungen von städtischen Infrastrukturen führen. (M-SPA, H-BGI, V-AWW, H-IBW) Die Trinkwasserversorgung ist hingegen durch den Klimawandel weniger gefährdet. Lediglich zu Spitzenlastzeiten könnten technische Kapazitätsgrenzen erreicht werden, die in Nutzungseinschränkungen resultieren können. (M-SPA, H-GTW, H-AWW). Expertin VTW sieht des Weiteren keine Gefahren für die Trinkwasserqualität, die aus einer Erhitzung des Trinkwassers in den bodengebundenen Leitungen resultieren könnte (H-VTW). Nicht eindeutig sind die Aussagen bezüglich der zukünftigen Rohwasserverfügbarkeit. Hier zeigen sich lokale Unterschiede. Die Experten AWW und BGI prognostizieren sinkende Rohwasserverfügbarkeiten in der Zukunft, während die Experten SPA und GTW diese nicht erwarten (H-AWW, H-BGI, M-SPA, M-GTW).

Verschiedene Antworten gab es beim Thema „Wasser-Resilienz“. Die Experten wurden hierbei gefragt, ob sie den Begriff „Wasser-Resilienz“ in ihrem Tätigkeitsfeld verwenden und was sie darunter verstehen. Als Ergebnis der Befragungen kann festgestellt werden, dass lediglich Experte GTW den Begriff im Unternehmensalltag verwendet, wie er in Kap. 3.2 beschrieben ist. Im Alltag wird bei Experte AWW das Konzept der „Wassersensibilität“ verfolgt. (W-GTW, W-AWW) Den Experten SPA, VTW, BGI und IBW ist das Konzept der „Wasser-Resilienz“ unbekannt. Den Experten SPA, VTW und BGI sind mit dem „Resilienz“-Begriff vertraut. (W-SPA, W-VTW, W-BGI, W-IBW)

Alle Experten haben den in dieser Arbeit vorgestellten Maßnahmen aus Kap. 3.3 Potenzial zur Minderung von Klimawandelfolgen eingeräumt. Insbesondere Maßnahmen zur grundstücknahen Regenwasserbewirtschaftung sind einfach in Planungen integrierbar und haben Potenzial.

(V-SPA, M-SPA, M-AWW, M-BGI) Bei multifunktionalen Retentionsräumen in Grünanlagen und Straßenraum, der Integration von Versickerungsmulden, Verschattungsmaßnahmen in Planungen sowie dem Einsatz von wasserdurchlässigen Oberflächenmaterialien ist ein früher Ansatz in der Planung erstrebenswert. Diese Maßnahmen können zu Beginn von Planungsvorhaben integriert werden. Eine spätere Integration in bereits bestehende Planungen ist hingegen schwer und deutlich aufwändiger. (V-SPA, M-SPA, M-AWW)

Einigkeit herrschte darüber, dass zur Potenzialausschöpfung von Kühlungseffekten durch Stadtgrün diese Flächen im Sommer bewässert werden sollte. (M-AWW, M-GTW, M-VTW) Aktuell werden Bewässerungsmaßnahmen mit dem Einsatz von Trinkwasser realisiert. Für eine Bewässerung mit Betriebswasser, bspw. mit gespeichertem Niederschlagswasser oder Flusswasser, fehlen die infrastrukturellen Voraussetzungen und finanzielle Möglichkeiten (M-AWW, M-GTW). Im Allgemeinen wird eine flächendeckende Betriebswassernutzung nicht angestrebt, da diese in der Gesamtbetrachtung mehr negative als positive Effekte für die bestehende Trinkwasserversorgungsstruktur vorweisen (M-SPA, M-VTW, M-GTW, M-BGI, M-IBW). Der private, grundstücksbezogene Einsatz von Betriebswasser kann bei Neubauten oder aufgrund lokaler Rahmenbedingungen sinnvoll sein (M-VTW, M-BGI, M-IBW). Im städtischen Umfeld erscheint er weniger angebracht (M-GTW).

Eine Arbeitshilfe zum Thema „Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung“ hält Experte SPA explizit für wünschenswert (A-SPA). Dieser sollte kurz, kompakt und klar strukturiert sein. Einzelmaßnahmen sollen vorgestellt und positive Auswirkungen für die Abmilderung von Klimawandelfolgen hervorgehoben werden. Ein Verweis auf technische Normen, Bauvorschriften und weiterführendes Material wäre wünschenswert. (A-SPA, A-BGI, V-BGI, A-IBW) Experte IBW denkt, dass sich ein Leitfaden auf städtische Akteure richten soll und weniger an Immobilieneigentümer. Bei Immobilien seien die Eigentumsstrukturen zu kleinteilig als dass es positive Aufwand-Nutzen-Verhältnisse gäbe. Diese seien bei Sanierungs- und Umbaumaßnahmen im öffentlichen Raum erreichbar. (A-IBW)

Am Beginn einer Arbeitshilfe oder eines Leitfadens sollte eine Gefährdungsanalyse stehen, bei denen aufgezeigt wird, welche Stadtstrukturen prinzipiell vor klimawandelbedingten Herausforderungen stehen. Neben der Vorstellung der Einzelmaßnahmen sollten lokale Best Practice-Beispiele eingeführt werden, um eine Praktikabilität der vorgestellten Einzelmaßnahmen zu unterstreichen. Insbesondere für Planungsbehörden sind auch die bereits bestehenden Festsetzungsmöglichkeiten in der Bauleitplanung von Interesse und sollten erwähnt werden. (A-AWW, A-BGI, A-VTW, V-AWW) Experte BGI weist außerdem darauf hin, dass eine Arbeitshilfe bzw. ein Leitfaden keinen abschließenden Charakter haben sollte. Experte BGI sieht erfolgreiche Arbeitshilfen und Leitfäden als eine Art Ideensammlung und Werkzeugkasten, an dem sich die verschiedenen Akteure bedienen können, um ein gemeinsam definiertes Planungsziel erreichen zu können. (A-BGI)

6. Diskussion der Erkenntnisse und Aufbau der Arbeitshilfe

Der Klimawandel führt weltweit zu steigenden Temperaturen und einer Veränderung der Niederschlagsereignisse. Klimamodelle prognostizieren in den nächsten Dekaden neben der Temperaturerhöhung auch längere Vegetations- und stärkere Hitzeperioden. Niederschlagsereignisse werden sich verstärkt in Wintermonaten ereignen. Längere Trockenperioden werden im Sommer auftreten. Es wird zu Starkregenereignissen kommen, die zusätzlich in einer höheren Häufigkeit auftreten werden.

Diese allgemein gültigen Trends werden sich in den verschiedenen Erdregionen, aber auch innerhalb einzelner Länder unterschiedlich auswirken. In Deutschland werden in städtischen Strukturen die Auswirkungen des Klimawandels ausgeprägter als in ruralen Gebieten sein. In Städten kommt es verstärkt durch die Auswirkungen der skizzierten Klimawandelfolgen zu Hitzebelastungen und Überschwemmungen im Nachgang von Starkregenfällen. In Trockenheitsperioden wird die Trinkwassernachfrage durch den erhöhten Bewässerungsbedarf steigen.

Die neuen Herausforderungen treffen in Städten auf bereits Jahrzehnte lang existierende Infrastrukturen, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Wasserinfrastruktur gelegt werden muss. Systeme der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung sind die Grundlage von städtischen Infrastrukturen und müssen als Teil der Daseins- und Gesundheitsvorsorge jederzeit garantiert sein. Betrachtet werden, sowohl in der Trinkwasserversorgung als auch in der Abwasserentsorgung, lediglich das leitungsgebundene Versorgungssystem und die Abwasserkanalisation.

Die Folgen des Klimawandels, insbesondere Trockenheitsperioden und Starkregenfälle, belasten die Wasserinfrastrukturen. Insgesamt wird in Deutschland während Trockenperioden kein flächendeckender Trinkwassermangel erwartet. Bei Trockenheitsperioden erhöht sich der Spitzenbedarf an Trinkwasser, der mitunter die Kapazitäten der Leitungsinfrastruktur übersteigen kann. Im Starkregenfall sind Kanalisationen überlastet, wodurch es zu Überschwemmungen an der Oberfläche und als Folge zu Nutzungseinschränkungen der städtischen Infrastruktur sowie Überschwemmungsschäden kommen kann.

„Wasser-Resilienz“ – Infrastrukturen gegen Klimawandelfolgen stärken

Der Klimawandel ist eine Folge des hohen Ausstoßes von Treibhausgasen. Um Folgen des Klimawandels abzumildern, gibt es im Allgemeinen zwei Vorgehensweisen: Bei Maßnahmen des Klimaschutzes wird durch eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen versucht, die weitere Verschärfung des Klimawandels zu vermeiden bzw. mindestens zu reduzieren. Bereits existierende Folgen des Klimawandels, wie steigende Temperatur und erhöhtes Auftreten von Starkregenfällen, und die von ihnen ausgehenden Risiken können in ihren Auswirkungen durch Anpassungsmaßnahmen an der Infrastruktur abgemildert werden. Der Grundgedanke dieser sog.

Klimaanpassung unterstellt, dass städtische Infrastrukturen bei einer Veränderung des Wettergeschehens dauerhaft gesichert sind und ihre Funktion erfüllen.

Das Konzept „Wasser-Resilienz“ greift den Grundgedanken der Klimaanpassung auf und wird als Antwort auf sowohl langfristige Herausforderungen sowie kurzfristige Ereignisse infolge des Klimawandels gesehen. Wasser-resiliente Infrastrukturen sind durch ihre Fähigkeit gekennzeichnet, im Anschluss an wetterbedingte Schäden sich schnell wieder zu regenerieren. Durch den Einsatz wasser-resilienter Einzelmaßnahmen lassen sich vorhandene Schwachstellen bei bestehenden Infrastrukturen ausbessern, wodurch langfristig die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung gesichert ist. Darüber hinaus schützen wasser-resiliente Einzelmaßnahmen vor wasserbezogenen Gefahren wie Überschwemmungen und nutzen Ökosystemdienstleistungen optimal aus. Wasser-resiliente Maßnahmen wirken durch das Ausnutzen von Ökosystemdienstleistungen kühlend auf Stadtstrukturen. Wasser-Resilienz kann die Folgen von Hitze- und Trockenheitsperioden sowie Starkregenfälle mildern und ist gut zur Anpassung bestehender städtischer Infrastruktur geeignet.

In Kap. 3.3 wurden acht verschiedene Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz vorgestellt. Die Einzelmaßnahmen stellen den Stand der Literatur dar und mildern die Folgen des Klimawandel. Die Auswirkungen der Einzelmaßnahmen in Bezug zu den Klimawandelfolgen zeigt Tabelle 15. Bei der Vorstellung der Einzelmaßnahmen wurden in dieser Arbeit auf eine weitere Untergliederung der Einzelmaßnahmen verzichtet, um die Komplexität nicht weiter zu steigern. Bspw. wurde die Einzelmaßnahme „Gebäudebegrünung“ nicht weiter in „Dachbegrünung“, „Fassadenbegrünung“ und „Innenhofbegrünung“ unterteilt. Die ausgewählten Einzelmaßnahmen entlasten mehrheitlich Abwasserentsorgungs- und Trinkwasserversorgungsstrukturen. Durch die Nutzung von Ökosystemdienstleistungen wirken die ausgewählten Einzelmaßnahmen hitzereduzierend. Die vorgestellten Einzelmaßnahmen sind geeignet, die Hauptfolgen des Klimawandels in Städten – Hitze-, Trockenheitsperioden und Starkregen – abzumildern.

Tabelle 15: Zusammenfassende Darstellung der Klimawirkung aller Einzelmaßnahmen

Einzelmaßnahme	Kap.	Hitze- belastungen	Abwasser- entsorgung	Trinkwasserver- sorgung
Versickerungsfähige Flächen	3.3.1	positive Effekte	positive Effekte	neutral
Multifunktionale Retentionsflächen	3.3.2	positive Effekte, wenn begrünt	positive Effekte	neutral
Entsiegelung und Nutzung wasserdurchlässiger Oberflächen	3.3.3	positive Effekte	positive Effekte	neutral
Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen	3.3.4	positive Effekte	neutral	bei Bewässerung: negative Effekte
Straßenbegleitgrün und begrünte Gleisanlagen	3.3.5	positive Effekte	positive Effekte	neutral
Gebäudebegrünung und Innenhofgestaltung	3.3.6	positive Effekte	positive Effekte	bei Bewässerung: negative Effekte
Betriebswassernutzung	3.3.7	neutral	leicht positive Effekte	positive Effekte
Wasserflächen	3.3.8	positive Effekte	leicht positive Effekte	bei Trinkwasserspeisung: negative Effekte

Das Mikroklima in Städten kann durch die Verdunstungsleistung von Pflanzen abgekühlt werden. Hitzebelastungen werden mit Ausnahme der Einzelmaßnahme „Betriebswassernutzung“ von allen Einzelmaßnahmen reduziert. Die Verdunstungsleistung kann durch die Einzelmaßnahme „Betriebswassernutzung“ indirekt gestärkt werden, wenn mittels Betriebswasser Pflanzen bewässert werden.

Die bestehenden Abwassersysteme werden größtenteils durch die Einzelmaßnahmen entlastet. Bei der Einzelmaßnahme „Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen“ werden Abwassersysteme nicht zusätzlich entlastet. Niederschlagswasser, das auf bestehende Grünflächen fällt, ist nicht abflusswirksam, da das Niederschlagswasser versickert und nicht in die Kanalisation geleitet wird. „Betriebswassernutzung“ und „Wasserflächen“ haben nur leichte positive Effekte für die Belastung von Abwassersystemen. Eine Betriebswassernutzung reduziert die Abwassermenge um die verwendete Betriebswassermenge. „Wasserflächen“ entlasten die Abwasserentsorgung nur, wenn Niederschlagswasser auf die Wasserfläche geleitet und nicht über Abwassersysteme entwässert wird. Wasserspiele oder Brunnen entlasten die Abwassersysteme nicht, da sie keine Speicherkapazitäten für Niederschlagswasser haben.

Der Klimawandel führt zu steigenden Belastungen der Trinkwasserversorgungssysteme, die insbesondere in Trockenperioden zu Spitzenlastzeiten an ihre Kapazitätsgrenzen im Verteilernetz gelangen. Die vorgestellten Einzelmaßnahmen reduzieren diese Auswirkungen mit Ausnahme der „Betriebswassernutzung“ nicht. Insbesondere wenn Pflanzen und Grünflächen mit Trinkwasser bewässert werden, wird die Belastung der Trinkwassersysteme erhöht. Nur die Nutzung von Betriebswasser kann die erhöhte Trinkwassernachfrage reduzieren. Diese Einzelmaßnahme kann nicht flächendeckend eingesetzt werden. Insbesondere im Bestand wären die Kosten einer Implementierung immens. Des Weiteren wäre eine dauerhafte Entlastung der Trinkwassersysteme durch Betriebswassernutzung nicht garantiert: Vor allem in längeren Trockenperioden können mit Niederschlagswasser gespeiste Betriebswasserspeicher nur für einen begrenzten Zeitraum Trinkwasser substituieren. Der Ausbau von Leitungskapazitäten und die Erhöhung von Redundanzen im Leitungsnetz erscheint als der wirtschaftlichere Weg, um Kapazitätsengpässe in der Trinkwasserversorgung zu reduzieren.

Auswertung der Fallbeispiele

Im weiteren Verlauf wurden die theoretischen Potenziale der Einzelmaßnahmen zur Milderung von Klimawandelfolgen mit bereits existierenden Konzepten und Leitfäden verglichen. Ausgewählt wurden drei Konzepte der deutschen Großstädte Berlin, Bremen und Karlsruhe. Die Auswahl steht stellvertretend für die drei Hauptherausforderungen des Klimawandels und verschiedene Großstadtgrößen. Zum besseren Vergleich der drei Fallbeispiele sind mehrere Stadteigenschaften in Tabelle 16 verglichen.

Tabelle 16: Vergleichende Charakterisierung der Städte aus den Fallbeispielen

	Berlin	Bremen	Karlsruhe
Zuordnung	Kap. 4.3	Kap. 4.4	Kap. 4.5
Herausforderung durch Klimawandel	Trockenheit	Starkregen	Hitze
Bevölkerung	3.640.000	680.000	300.000
Fläche	891 km ²	0,42 km ²	173 km ²
Anteil der Siedlungsfläche	55 %	44 %	31 %
Anteil der Verkehrsfläche	15 %	12 %	13 %
Anteil der Vegetationsfläche	23 %	32 %	52 %
Anteil der Gewässerfläche	7 %	12 %	4 %

Die drei ausgewählten Fallbeispiele repräsentieren die drei Hauptfolgen des Klimawandels, die in Deutschland erwartet werden. Es wird deutlich, dass abhängig von der geographischen Lage die Hauptherausforderung unterschiedlich gelagert ist. Die drei vorgestellten Städte haben unterschiedlich viele Einwohner und stehen stellvertretend für unterschiedliche Größen deutscher Großstädte. Die Städte sind unterschiedlich groß und die Nutzungen der Flächen sind unterschiedlich stark ausgeprägt. Berlin hat den höchsten Versiegelungsgrad, Bremen den größten

Gewässerflächenanteil der drei Städte und Karlsruhe den höchsten Anteil an Vegetationsflächen.

Von den drei vorgestellten Fallbeispielen wurden die Berliner Arbeitshilfe und das Bremer Merkblatt als Konzepte für eine wasser-resiliente Stadtentwicklung erkannt. Der Karlsruher Rahmenplan kann nicht als wasser-resilient bezeichnet werden, obwohl einige Maßnahmen, die im Karlsruher Rahmenplan vorgestellt wurden, den in Kap. 3.3 vorgestellten Einzelmaßnahmen ähneln.

Im Folgenden sollen die drei Fallbeispiele untereinander verglichen werden, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede feststellen zu können. Dafür werden im ersten Schritt Aufbau und Vorgehensweise der Konzepte in Tabelle 17 verglichen.

Tabelle 17: Gliederung der Konzepte aus den drei Fallbeispielen

Berlin	Bremen	Karlsruhe
1. Entwicklung eines gemeinsamen Planungsziels	1. Analyse von Überflutungsverdachtsfällen	1. Herausforderung Hitzestress und Auswirkungen
2. Analyse des Standorts und der Liegenschaft	2. Analyse der Schadens- und Risikopotenziale	2. rechtliche Einordnung des Plans
3. Auswahl von Maßnahmen zur blau-grün-grauen Infrastruktur	3. Erarbeitung von Potenzialräumen	3. Präsentation von geeigneten Maßnahmen
4. Entwicklung verschiedener Varianten	4. Vorstellung geeigneter Gegenmaßnahmen	4. Stadtstrukturtypen
5. Variantenbewertung	5. Entwurfsbeispiele	8. Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung
6. Auswahl der Vorzugsvariante	6. Hinweise für die Umsetzung in der Bauleitplanung	
	7. Good Practice-Beispiele	

Die Berliner „Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grauer Infrastrukturen“ ist in sechs Schritten gegliedert. Die Arbeitshilfe kann bei der Planung eines spezifischen Vorhabens zurate gezogen werden. Zuerst werden in der Arbeitshilfe Planungsziele zwischen den verschiedenen Akteuren definiert. Im Anschluss daran werden Standort und Liegenschaft analysiert, wodurch sich die Rahmenbedingungen für die Planungen ergeben. Basierend auf den Zielen und den Rahmenbedingungen, bspw. die Versickerungsfähigkeit des Bodens, werden aus vorgestellten Maßnahmen diejenigen ausgewählt, die prinzipiell zu den Zielen und Rahmenbedingungen passen. Aus den gewählten Maßnahmen werden verschiedene Varianten entwickelt, die abschließend bewertet werden und aus der die Vorzugsvariante bestimmt wird.

Das Bremer „Merkblatt zur wassersensiblen Stadt- und Freiraumgestaltung“ ist in sieben Punkte untergliedert. Zuerst werden die Stadtstrukturen auf überflutungsgefährdete Bereiche analysiert und dessen Schadensrisiko eingeschätzt. Die Kombination aus dem Schadensrisiko und der

Überflutungsgefährdung ergibt die Potenzialräume. In den Risikoräumen kann das Schadensrisiko durch den Einsatz von geeigneten Maßnahmen minimiert werden. Geeignete Maßnahmen zur Reduzierung der Überflutungsgefährdung werden vorgestellt. Im Anschluss werden Entwurfsbeispiele und Hinweise zur Umsetzung in der Bauleitplanung gegeben. Die Arbeitshilfe schließt mit Good Practice-Beispielen.

Der Karlsruher „Städtebauliche Rahmenplanung Klimaanpassung ‚Hitze‘“ unterteilt sich in fünf Gliederungspunkte. Der Rahmenplan gilt für die gesamte Stadt. Zu Beginn wird die Herausforderung Hitze und deren Auswirkungen für die städtische Bevölkerung erläutert. Nach der rechtlichen Einordnung des Plans werden hitzereduzierende Maßnahmen vorgestellt. Im vierten Schritt analysiert der Rahmenplan verschiedene Stadtstrukturtypen, sowie die dort vorherrschenden Auswirkungen durch Hitzeperioden. Maßnahmen und Stadtstrukturtypen werden im fünften Punkt zum städtebaulichen Rahmenplan zusammengefasst und an Beispielquartieren dargestellt.

Ungeachtet der unterschiedlichen Klimaherausforderungen und der Bevölkerungsgröße der Städte haben die drei Fallbeispiele Ähnlichkeiten im Aufbau. Alle Konzepte starten mit einem definierten Planungsziel. In der Berliner Arbeitshilfe werden Planungsziele im 1. Schritt zwischen den Akteuren vereinbart. Im Bremer und Karlsruher Beispiel sind die Ziele Minimierung des Schadenspotenzials durch Starkregen und Hitzereduktion durch das Konzept gegeben und jeweils zu Beginn erläutert. Bei allen Konzepten folgt die Analyse der vorhandenen Liegenschaft (Berlin), des gesamten Stadtgebiets (Bremen) bzw. Stadtstrukturen (Karlsruhe). Im Beispiel Berlin stellt die Analyse die Grundlage für die spätere Auswahl der Maßnahmen dar. In Bremen und Karlsruhe ermittelt die Analyse vor allem gefährdete bzw. stark beeinträchtigte Gebietsstrukturen.

In allen Fallbeispielen werden geeignete Maßnahmen zur Erreichung der Planungsziele bzw. zur Abmilderung der Klimawandelfolgen vorgestellt. Die in den jeweiligen Konzepten vorgestellten Maßnahmen können in Teilen den in dieser Ausarbeitung vorgestellten Einzelmaßnahmen zugeordnet werden, wie Tabelle 18 verdeutlicht.

Tabelle 18: Vergleich der vorgestellten Einzelmaßnahmen mit Maßnahmen aus den Fallbeispielen

Einzelmaßnahme	Kap.	Berlin	Bremen	Karlsruhe
Versickerungsfähige Flächen	3.3.1	erwähnt	erwähnt	nicht erwähnt
Multifunktionale Retentionsflächen	3.3.2	erwähnt	erwähnt	nicht erwähnt
Entsiegelung und Nutzung wasser-durchlässiger Oberflächen	3.3.3	erwähnt	erwähnt	erwähnt
Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen	3.3.4	erwähnt	nicht erwähnt	erwähnt
Straßenbegleitgrün und begrünte Gleisanlagen	3.3.5	erwähnt	nicht erwähnt	erwähnt
Gebäudebegrünung und Innenhof-gestaltung	3.3.6	erwähnt	erwähnt	erwähnt
Betriebswassernutzung	3.3.7	erwähnt	erwähnt	nicht erwähnt
Wasserflächen	3.3.8	erwähnt	erwähnt	erwähnt

Im Anschluss an die Maßnahmen unterscheiden sich die Strukturierungen der Fallbeispiele. Die vorhabenbezogene Berliner Arbeitshilfe bevorzugt die Variantenbildung, -bewertung und -auswahl als folgende Arbeitspunkte. Das Bremer Merkblatt präsentiert in Entwurfsbeispielen, wie die Maßnahmen angewendet werden können. Außerdem werden Festsetzungsmöglichkeiten in der Bauleitplanung und weitere Best Practice-Beispiele vorgestellt. Im Karlsruher Rahmenplan folgt nach den Maßnahmen die ausführliche Analyse der vorhandenen Stadtstrukturen. Es werden typische Auswirkungen des Klimawandels für die jeweiligen Strukturen erläutert und auf geeignete Maßnahmen verwiesen. Im Anschluss wird an beispielhaften Stadtgebieten dargestellt, wie die Maßnahmen umgesetzt werden können.

Ziel der Analyse der drei Fallbeispiele ist, Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Konzepten darzulegen. Die drei Fallbeispiele sind Arbeitshilfen oder Leitfäden, mit denen die drei Städte Klimawandelfolgen abmildern wollen. Die drei betrachteten Städte haben unterschiedliche klimatische Herausforderungen. Gemeinsamkeiten in den Konzepten sind deshalb Hinweise auf allgemeingültige Aspekte zur Anpassung von Infrastrukturen an den Klimawandel. Unterschiede in den Konzepten deuten auf herausforderungsspezifische Aspekte bei der Klimaanpassung. Sowohl aus den Gemeinsamkeiten als auch aus den Unterschieden sollen Hinweise für die zu gestaltende Arbeitshilfe zur wasser-resilienten Stadtentwicklung gezogen werden.

Alle drei Fallbeispiele definieren zu Beginn das Ziel der jeweiligen Konzepte. Es folgen Analysen über die Standortbedingungen, die Auskunft über das Potenzial der Maßnahmen geben (Berlin) oder über negative Auswirkungen durch den Klimawandel (Bremen, Karlsruhe). Mit den Fallbeispielen werden außerdem geeignete Maßnahmen vorgestellt, mit denen die Folgen des Klimawandels abgemildert werden können.

An die Maßnahmen schließen sich unterschiedliche Vorgehensweisen in den Fallbeispielen an. Die Berliner Arbeitshilfe sieht die Erstellung verschiedener Planungsvarianten, deren Bewertung sowie die Auswahl der Vorzugsvariante vor. Generell erfolgt die Integration der vorgestellten Maßnahmen in informellen Gesprächen und Planungsrunden. Beides ist durch den vorhabenbezogenen Ansatz der Arbeitshilfe gut umsetzbar, da die Anzahl der Akteure und Planungsparameter überschaubar ist.

Das Bremer Merkblatt stellt nach den Maßnahmen beispielhafte Entwürfe, Festsetzungsmöglichkeiten und Best Practice-Beispiele vor. Insbesondere die Präsentation der Festsetzungsmöglichkeiten unterstützt städtische Planungsstellen bei der Integration der vorgestellten Maßnahmen im Planungsalltag.

Der Karlsruher Rahmenplan analysiert verschiedene Stadtstrukturtypen auf die Auswirkungen des Klimawandels. Damit versucht der Rahmenplan für die verschiedenen Strukturtypen standardisierte Analysen und Lösungsansätze zu präsentieren. Der Rahmenplan ist flexibel für nahezu jedes Gebäude anwendbar. Er verdeutlicht allgemeine Auswirkungen des Klimawandels und Anpassungsmöglichkeiten in einer standardisierten Form, die einen guten Überblick über zu erwartende Auswirkungen und Maßnahmen geben.

Erkenntnisse aus den Experteninterviews

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurden sechs Experteninterviews durchgeführt. Die geführten Gespräche haben die theoretischen Erkenntnisse aus der Literaturrecherche und die Analysen der Fallbeispielen ergänzt und eine praktische Einordnung ermöglicht. Die Experteninterviews sind durch den in Anhang III abgebildeten Gesprächsleitfaden gegliedert worden.

Tabelle 19 listet die Auswahl der interviewten Experten sowie die durch den Klimawandel resultierenden Herausforderungen in ihrem Arbeitsbereich auf. Die Expertenauswahl repräsentieren Akteure, die Einfluss auf Gestaltung und Betrieb städtischer Infrastrukturen haben. Die Abwasserentsorger werden durch Experte SPA und Experte AWW, die Trinkwasserversorger von Expertin VTW und Experte GTW repräsentiert. Experte BGI erläutert zukünftige Möglichkeiten einer nachhaltigen Wasserinfrastruktur, während Experte IBW die Situation vom Immobilieneigentümern widerspiegelt.

Tabelle 19: Zusammenstellung der interviewten Experten

Experte	Branche	größte Herausforderung durch Klimawandel
Experte SPA	Stadtplanung Entwässerung	Starkregen und Hitze
Experte AWW	Stadtplanung Entwässerung	Starkregen und Hitze
Expertin VTW	Trinkwasserversorgung	Spitzenlast bei Hitze
Experte GTW	Trinkwasserversorgung	Spitzenlast bei Hitze
Experte BGI	Forschung zu blau-grün-grauer Infrastruktur	Starkregen und Hitze
Experte IBW	Immobilienbewertung	Starkregen

Die Expertengespräche ergaben, dass Hitzewellen und Starkregen als Hauptherausforderungen durch den Klimawandel gesehen werden. In der Trinkwasserversorgung werden die hohen Spitzenlasten bei Hitze- und Trockenheitsperioden als herausfordernd wahrgenommen, da Grenzen von Leitungskapazitäten bei zu großer Nachfrage erreicht oder überschritten werden können.

Experte IBW nannte hingegen nur Starkregen als große Herausforderung für Immobilieneigentümer. Überschwemmungen, die durch Starkregenfälle ausgelöst werden, haben demnach größeres Wertminderungspotenzial durch die hervorgerufenen Schäden. Auswirkungen von Trockenheits- und Hitzeperioden könnten im Immobilienbereich durch technische Lösungen ausgeglichen werden. Beides sind aktuell noch keine akuten Probleme.

Ein ähnliches Bild vermittelten Expertin VTW und Experte GTW, wonach Trinkwasserversorger durch erhöhte Spitzenlasten vor Herausforderungen stehen. Auch hier sind technische Ertüchtigungen die wirtschaftlichere Lösung, um zu Spitzenlastzeiten die Trinkwassernachfrage bedienen zu können und Kapazitätsengpässe zu minimieren. Dies sei wirtschaftlich die beste Möglichkeit, zumal die Einzelmaßnahme „Betriebswassernutzung“ nur im Neubau wirtschaftlich umgesetzt werden könnte. Aus stadtplanerischer Sicht gilt es, den steigenden Bewässerungsbedarf von Grünanlagen und Pflanzen ohne die Nutzung von Trinkwasser sicherzustellen. Die Bewässerung ist ihrerseits unverzichtbar, da ansonsten die Kühlungseffekte der Vegetation nicht ausgenutzt werden können.

Strukturierung der Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung“

Die Experteninterviews ergaben, dass das Konzept „Wasser-Resilienz“ bisher nicht weit in der Praxis verbreitet ist. Trotz dessen wird dem Konzept in der Stadt- und Landschaftsplanung Potenzial bescheinigt, da die Sicherung zuverlässiger Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgungssysteme sowie eine Milderung von Hitzeauswirkungen Maximen der täglichen Arbeit sind.

Um die Bekanntheit des Konzepts „Wasser-Resilienz“ zu erhöhen, benötigt es eine praktisch anwendbare Arbeitshilfe für Planungsbüros und -behörden. Diese Arbeitshilfe muss das Konzept

grundlegend erläutern und Einzelmaßnahmen erklären. Die Expertengespräche ergaben weiterhin, dass sich die Arbeitshilfe an städtische Planungsbehörden sowie an Planungsbüros für Stadt- und Landschaftsplanung richtet. Sie könnte eine ähnliche Zielgruppe wie das analysierte Bremer Merkblatt haben.

In den Expertengesprächen und aus dem Vergleich der analysierten Fallbeispiele konnten eine Vielzahl an Hinweisen für die Gestaltung der Arbeitshilfe zusammengetragen werden. In der Arbeitshilfe sollen grundsätzlich Maßnahmen vorgestellt werden, die zur Abmilderung der Klimawandelfolgen beitragen können. Diese Maßnahmen sollen kurz textlich und mit Bildern vorgestellt werden. Vor- und Nachteile der Maßnahmen sollten genauso wie weiterführende Informationen gegeben werden. Des Weiteren soll die Arbeitshilfe prägnant formuliert sein und Beispiele beinhalten. Die Arbeitshilfe soll alltägliche Planungsarbeiten unterstützen, indem sie einfach benutzbar und nicht zu detailliert ist. Sie soll sowohl in informellen wie auch in Vorbereitung für formale Planungen hilfreich sein. Darüber hinaus soll die Arbeitshilfe so konzipiert werden, dass sie für interessierte Städte einfach spezifiziert werden kann.

Die Anregungen aus den Expertengesprächen werden mit den Erkenntnissen aus den verschiedenen Gliederungen der Fallbeispiele kombiniert. Die Arbeitshilfe wird wie folgt gegliedert sein:

1. Einleitung
2. Hintergrund und Vorgehensweise
3. Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz
4. Integration der Wasser-Resilienz in die Planung
5. Best Practice-Beispiele
6. Hinweise zur Nutzung der Arbeitshilfe

Die einzelnen Gliederungspunkte der Arbeitshilfe werden im Folgenden definiert und ihr Hintergrund erläutert.

Hintergrund und Vorgehensweise

Alle drei Fallbeispiele starteten mit einer Definition des Konzepts bzw. der Zielvereinbarung. Diese muss insbesondere vor dem Hintergrund des geringen Bekanntheitsgrades des Konzepts „Wasser-Resilienz“ geschehen. In dieser Erklärung muss das Konzept einfach und schnell erfassbar dargestellt werden. Dabei sind die Ziele des Konzepts in Verbindung zu den auftretenden Herausforderungen durch den Klimawandel zu stellen.

Alle drei Fallbeispiele eint die Analyse der Stadtstrukturen vor dem Hintergrund des Klimawandels. Da die Arbeitshilfe keinen spezifischen Stadtbezug hat, kann keine detaillierte Standortanalyse geleistet werden. Diese muss von interessierten Städten ergänzt werden. Anstelle einer detaillierten Analyse tritt eine Abschätzung, bei der hitze- und starkregengefährdete sowie hitzemindernde und starkregengeeignete Strukturen vorgestellt werden (vgl. Anhang IV, Tab. 1). Diese Tabelle bietet die Möglichkeit, bestehende Baustrukturen grob in ihrer

Anfälligkeit auf Hitzebelastungen und Starkregenauswirkungen abzuschätzen. Diese Vorgehensweise ist ähnlich der Stadtstrukturanalysen aus dem Karlsruher Rahmenplan. In dieser wurden typische Stadtstrukturen in Karlsruhe auf Hitzeanfälligkeiten untersucht (vgl. Tabelle 12).

Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz

Die Vorstellung der in Kap. 3.3 erarbeiteten Einzelmaßnahmen ist ein Schwerpunkt in der Arbeitshilfe. Die Einzelmaßnahmen sind prägnant mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben. Bilder geben eine Vorstellung, wie die Einzelmaßnahmen in der Praxis integriert werden können. Des Weiteren wird auf detailliertere Publikationen zu den Einzelmaßnahmen hingewiesen.

Die Einzelmaßnahmen können einzeln oder kombiniert verwendet werden. Die Darstellung in der Arbeitshilfe ist als eine Art Ideensammlung zu verstehen. Für die Integration der Einzelmaßnahmen braucht es keine explizit eigene Planung. Sie können im normalen Planungsalltag in die Planungen integriert werden. Insbesondere in Expertengesprächen mit Vertretern der Stadtplanung wurde erklärt, dass in der Praxis keine Stadtstrukturen explizit aufgrund von Klimawandelauswirkungen saniert werden. Vielmehr wird versucht, bei anstehenden Sanierungsmaßnahmen wasser-resiliente bzw. ihnen ähnliche Maßnahmen im sog. „Huckepack-Verfahren“ zu integrieren. Aus diesem Grund sind die kurze und leicht erfassbare Darstellung der Einzelmaßnahmen von Bedeutung, damit sie in integrativen Planungsrunden schnell von allen Planungsakteuren erfasst werden können. Für detaillierte Informationen zu den Einzelmaßnahmen wird auf weiterführende Literatur verwiesen.

Integration der Wasser-Resilienz in die Planung

Nachdem in der Arbeitshilfe die Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz vorgestellt wurden, sollen im nächsten Schritt Möglichkeiten zur Integration des Konzepts in Planungsprozesse dargestellt werden. Es werden zuerst die Möglichkeiten der informellen (Vor-)Planung, des Stadtumbaus sowie Gestaltungsmöglichkeiten städtischer Satzungen vorgestellt.

Im zweiten Schritt wird aufgezeigt, wie wasser-resiliente Maßnahmen formal bindend festgelegt werden können. Das Konzept „Wasser-Resilienz“ ist noch nicht weit verbreitet und dennoch mit bereits bestehenden Instrumenten der Bauleitplanung umsetzbar. Die in Kap. 2.4 vorgestellten Festsetzungsmöglichkeiten werden in die Arbeitshilfe aufgenommen. In diesem Gliederungspunkt ähnelt die Arbeitshilfe dem analysierten Bremer Merkblatt und nimmt den Hinweis von Experte AWW auf, dass eine Übersicht der Festsetzungsmöglichkeiten wünschenswert ist.

Best Practice-Beispiele

Zwei Best Practice-Beispiele zeigen verschiedene Wege zur Integration von Wasser-Resilienz in Planungsprozesse. Die Auswahl der beiden Beispiele verdeutlicht, dass wasser-resiliente Planungen auf unterschiedlichen Ebenen stattfinden können. Im Fallbeispiel Berlin werden wasser-resiliente Strukturen in informellen Planungsrunden erarbeitet. Dem Fallbeispiel Karlsruhe zufolge können wasser-resiliente Strukturen in einem Bebauungsplan einfließen. Für die Stadt- und Landschaftsplanung zeigen die Arbeitshilfen auf, dass sowohl informelle Planungsrunden als auch die formale Bauleitplanung geeignet sind, wasser-resiliente Strukturen zu planen.

Bei der Anwendung der Arbeitshilfe in Planungsbüros und -behörden sollten die Best Practice-Beispiele durch bekannte und lokale Beispiele ausgetauscht werden. Lokale Beispiele erhöhen die Bereitschaft neue Konzepte umzusetzen, da in diesen Fällen die Funktionalität des Konzepts für ähnliche Rahmenbedingungen gegeben, das Projekt und Ansprechpartner ggf. bekannt und einfacher zu kontaktieren sind.

Hinweise zur Nutzung der Arbeitshilfe

Der letzte Gliederungspunkt gibt Hinweise zur Anwendung der Arbeitshilfe. Insbesondere wird auf die vorliegende Masterthesis als Quelle verwiesen und kurz die Hintergründe zur Erarbeitung der Arbeitshilfe erläutert. Des Weiteren wird explizit empfohlen, dass interessierte Städte ihre Stadtstrukturen ausführlich auf Hitze- und Starkregenanfälligkeiten analysieren, um die Einzelmaßnahmen optimal anordnen zu können.

Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“

Die Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“ wurde entsprechend der vorgestellten Gedanken und Überlegungen aus dieser Masterthesis erarbeitet. Die Arbeitshilfe ist in Anhang IV dargestellt, damit sie benutzerfreundlich von der Masterthesis gelöst und eigenständig verwendet werden kann. Durch die Eingliederung der Arbeitshilfe in den Anhang, wird dem Wunsch der Experten Rechnung getragen, eine kompakte und leicht in den Planungsalltag zu integrierende Arbeitshilfe zu konzipieren.

Die erarbeitete Arbeitshilfe fokussiert sich auf die Milderung von Hitze- und Starkregenauswirkungen in Städten. Grundlage hierfür war eine allgemeine Literaturrecherche, die Analyse von drei Fallbeispielen und Experteninterviews. Die vorgestellten Einzelmaßnahmen fokussieren sich auf die Entlastung von Abwasserinfrastrukturen und die Reduzierung von Wärme- und Hitzebelastungen durch Verdunstungskühlung von Pflanzen. Auf die aktive Entlastung der Trinkwasserstrukturen, die aktuell in Spitzenlastzeiten im Sommer an ihre Leitungskapazitätsgrenzen stoßen kann, wird nicht schwerpunktmäßig eingegangen. Sowohl Literaturerkenntnisse als auch die Aussagen von Expertin VTW und Experte GTW verdeutlichen, dass technische Kapazitätserhöhung aus sozioökonomischer Sicht sinnhafter als die Umsetzung von Einzelmaßnahmen, insb. der Nachrüstung von Bestandsgebäuden mit Betriebswassernutzung sind.

Aktuell gibt es keine Förderprogramme, die es Städten erlauben, hitze- oder starkregengefährdete Stadtstrukturen aufgrund von Klimawandelauswirkungen gezielt zu sanieren. Die Arbeitshilfe unterstützt die Stadt- und Landschaftsplanung durch die übersichtliche und kompakte Darstellung der Einzelmaßnahmen und regt zur Integration dieser an. Dieser Effekt kann sich durch stadtspezifische Analysen verstärken, da in diesem Fall risikobehaftete Gebiete mit erhöhter Aufmerksamkeit geplant werden können. Die individuellen Einzelmaßnahmen haben einzeln angewendet keine großen Auswirkungen auf die Stärkung der Wasserinfrastrukturen. Die Summe aus vielen umgesetzten Einzelmaßnahmen wirkt sich jedoch auf die Stadtstrukturen aus und erhöht die Wasser-Resilienz der Städte langfristig.

Prinzipiell ist die Arbeitshilfe in Planungsbüros und -behörden einsetzbar, da die Arbeitshilfe im Großteil allgemein gehalten ist. Empfohlen wird die Verwendung in Großstädten, da die Fallbeispiele nur deutsche Großstädte repräsentieren. Die Arbeitshilfe kann sowohl vorhabenbezogen als auch auf Stadtebene verwendet werden. Grundlage für den Einsatz ist immer die Analyse der vorhandenen Standorte. Ist die Standortanalyse nur liegenschaftsbezogen, eignet sich die Arbeitshilfe zur vorhabenbezogenen Planung wasser-resilienter Strukturen. Sobald die grundlegende Standortanalyse Quartiers- oder Stadtebenen erfasst, ist der Einsatz der Arbeitshilfe auch auf höheren Planungsebenen denkbar. In beiden Fällen ist die Arbeitshilfe anwendbar.

Generell darf die Arbeitshilfe nicht als abschließender, linear anzuwendender Leitfaden verstanden werden, sondern ist als Unterstützung der bereits bestehenden Prozesse gedacht. Die Arbeitshilfe kann eine Unterstützung bei der Realisierung wasser-resilienter Strukturen sein. Diese ist vor dem Hintergrund des Klimawandels erforderlich, denn die Herausforderungen sind bereits in allen deutschen Großstädten sichtbar. Die Arbeitshilfe ist eine Hilfestellung zur Anpassung der bestehenden Infrastrukturen, um Städte auch zukünftig lebenswert zu gestalten und die gesicherte Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung zu garantieren.

7. Fazit und Ausblick

Weltweit sind die Herausforderungen durch den Klimawandel sichtbar. In Deutschland verursacht der Klimawandel ein verändertes Wettergeschehen, bei dem Hitze- und Trockenheitsperioden sowie Starkregenfälle in den nächsten Jahrzehnten weiter zunehmen. Dies führt zu einer Zunahme von Wärme- und Hitzebelastungen in Städten. Außerdem steigt das Risiko von Überschwemmungen infolge von Starkregen. Eine Anpassung der städtischen (Wasser-)Infrastrukturen, wodurch die Klimawandelfolgen gemildert werden, ist unumgänglich. Durch die Erhöhung der „Wasser-Resilienz“ von städtischen Infrastrukturen können diese für die Folgen des Klimawandels gestärkt werden. Wasser-resiliente Infrastrukturen garantieren eine gesicherte Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung, schützen vor wasserbezogenen Gefahren und nutzen Ökosystemdienstleistungen zur Kühlung des Mikroklimas.

Im Folgenden galt es, eine Arbeitshilfe zur wasser-resilienten Stadtentwicklung zu entwerfen. Hierfür wurden zuerst acht Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz vorgestellt. Der Großteil der Einzelmaßnahmen entlastet die Abwassersysteme und wirkt durch Verdunstungseffekte kühlend auf das Mikroklima. In einer Best Practice-Analyse wurden Konzepte zur Klimaanpassung der Städte Berlin, Bremen und Karlsruhe hinsichtlich des Wasser-Resilienz-Konzepts analysiert. Die betrachteten Konzepte aus Berlin und Bremen können die Wasser-Resilienz in städtischen Infrastrukturen erhöhen. Das betrachtete Karlsruher Konzept erfüllt nicht die Kriterien der Wasser-Resilienz. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse bilden zusammen mit den Ergebnissen von sechs geführten Experteninterviews die Grundlage für die Erarbeitung der Arbeitshilfe.

Die Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“ stellt die Herausforderungen des Klimawandels und das Konzept „Wasser-Resilienz“ vor. Die Arbeitshilfe kann grundsätzlich losgelöst von der Masterthesis verwendet werden und ist ohne spezifischen Stadtbezug entstanden. Die Arbeitshilfe bietet die Gelegenheit, bestehende und neu zu entwickelnde Stadtinfrastrukturen an den Klimawandel anzupassen. Interessierte Städte können die Arbeitshilfe verwenden, indem sie ihr eine Analyse ihrer Stadtstrukturen voranstellen. Hierfür wird empfohlen, dass alle Städte Konzepte und Leitfäden erarbeiten, in denen sie darstellen, wie sie ihre Infrastrukturen an die neuen Bedingungen anpassen wollen. Die Arbeitshilfe kann hierfür als Blaupause dienen und ist zur Anwendung in Großstädten geeignet.

Perspektivisch ist es sinnvoll, Stadtstrukturen, die in Gefährdungs- und Risikoanalysen kritisch auffielen, aktiv umzugestalten und an die veränderten Klimabedingungen anzupassen. Hierzu fehlen vielen Kommunen aktuell die Haushaltsmittel, sodass Klimaanpassung lediglich bei stattfindenden Planungsmaßnahmen mitgedacht wird. Die aktuell stattfindenden Planungen sollten dennoch genutzt werden, um Infrastrukturen an den Klimawandel anzupassen. Dafür eignet sich die Verwendung der erarbeiteten Arbeitshilfe, da diese Infrastrukturen wasser-resilienter durch die Integration der vorgestellten Einzelmaßnahmen gestaltet.

8. Literaturverzeichnis

- AbwAG – Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz): Abwasserabgabengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005 (BGBl. I S. 114), das zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 22. August 2018 (BGBl. I S. 1327) geändert worden ist.
- AfS – Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hg.) (2019): Statistisches Jahrbuch 2019. Berlin. Berliner Wissenschafts-Verlag: Potsdam.
- AfStE – Amt für Stadtentwicklung der Stadt Karlsruhe (2019): Statistisches Jahrbuch 2019: Karlsruhe.
- AfUA – Amt für Umwelt- und Arbeitsschutz der Stadt Karlsruhe (2013): Anpassung an den Klimawandel. Bestandsaufnahme und Strategie für die Stadt Karlsruhe: Karlsruhe.
- AfU – Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart (Hg.) (2010): Der Klimawandel - Herausforderung für die Stadtklimatologie. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz 3/2010: Stuttgart.
- Allen, Lucy/Juliet Christian-Smith/Meena Palaniappan (2010): Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management: Oakland.
- ARUP/The Rockefeller Foundation (o.J.): City Resilience Index. Understanding and Measuring City Resilience.
- Barjenbruch, Matthias (2015): Abwassertechnik. In: Lecher, Kurt/Hans-Peter Lühr/Ulrich Zanke (Hg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Grundlagen, Planungen, Maßnahmen. 9., vollst. überarb. und aktual. Aufl. Springer Vieweg: Wiesbaden, 961–1111.
- BauGB – Baugesetzbuch: Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 587) geändert worden ist.
- Baumüller, Nicole (2018): Stadt im Klimawandel Klimaanpassung in der Stadtplanung. Grundlagen, Maßnahmen und Instrumente. Dissertation. Universität Stuttgart: Stuttgart.
- Baur, Andreas/Peter Fritsch/Winfried Hoch/Gerhard Merkl/Joachim Rautenberg/Matthias Weiß/Burkhard Wricke (2019): Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung. Springer Vieweg: Wiesbaden.
- Baur, Nina/Jörg Blasius (Hg.) (2019a): Handbuch Methoden der Empirischen Sozialforschung. Springer Vieweg: Wiesbaden.
- Baur, Nina/Jörg Blasius (2019b): Methoden der empirischen Sozialforschung. In: Baur, Nina/Jörg Blasius (Hg.): Handbuch Methoden der Empirischen Sozialforschung. Springer Vieweg: Wiesbaden, 41–62.
- BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2015): Die unterschätzten Risiken "Starkregen und Sturzfluten". Ein Handbuch für Bürger und Kommunen. 1. Aufl. BBK: Bonn.
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017): Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz. Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte.

- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hg.) (2016): Klimaresilienter Stadtumbau. Bilanz und Transfer von StadtKlimaExWoSt. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Bonn.
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Ergebnisbericht der fallstudiengestützten Expertise "Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe". BBSR: Bonn.
- BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2019): Trinkwasserverwendung im Haushalt 2018. Durchschnittswerte bezogen auf die Wasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe - Anteile. https://www.bdew.de/media/documents/Trinkwasserverwendung_im_HH_2018_o_j_Ott_online_03042019.pdf [Stand: 23.10.2020].
- Beermann, Björn/Martin Berchtold/Philipp Krass/Jürgen Baumüller/Günter Gross (2014): Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung für die Stadt Karlsruhe (Teil II): Karlsruhe.
- Benden, Jan/Robert Broesi/Marc Illgen/Ulla Leinweber/Gottfried Lennartz/Christian Scheid/Theo G. Schmitt (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation.
- Berardi, Umberto/Amir Hosein Ghaffarian Hoseini/Ali Ghaffarian Hoseini (2014): State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy* 115, 411–428.
- BMI – Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2018): Hochwasserschutzbibel. Objektschutz und bauliche Vorsorge. 8. Aufl...
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hg.) (2013): Methodenhandbuch zur regionalen Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung. Systematisierung der Grundlagen regionalplanerischer Klimafolgenbewertung.
- Bowler, Diana E./Lisette Buyung-Ali/Teri M. Knight/Andrew S. Pullin (2010): Urban greening to cool towns and cities. A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97 (3), 147–155.
- Breuste, Jürgen (2019): Die Grüne Stadt. Springer Nature: Berlin, Heidelberg.
- Bronstert, Axel/Helge Bormann/Gerd Bürger/Uwe Haberlandt/Fred Hattermann/Maik Heistermann/Shaochun Huang/Vassilis Kolokotronis/Zbigniew W. Kundzewicz/Lucas Menzel/Günter Meon/Bruno Merz/Andreas Meuser/Eva Nora Paton/Theresia Petrow (2017): Hochwasser und Sturzfluten an Flüssen in Deutschland. In: Brasseur, Guy P./Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg, 87–101.
- Brune, Miriam/Steffen Bender/Markus Groth (2017): Gebäudebegrünung und Klimawandel. Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Report 30. Climate Service Center Germany: Hamburg.

- BSU – Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg (2013): Regenwasser Handbuch. Regenwassermanagement an Hamburger Schulen: Hamburg.
- BSU – Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg (2006): Dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung.
- BUE – Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (2017): Hamburgs Gründächer. Eine ökonomische Bewertung.
- Cardona, Omar-Dario/Maarten K. van Aalst/Jörn Birkmann/Maureen Fordham/Glenn McGregor/Rosa Perez/Roger S. Pulwarty/E. Lisa F. Schipper/Bach Tan Sinh (2012): Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, New York.
- Christmann, Gabriela B./Heiderose Kilper/Oliver Ibert (2016): Die resiliente Stadt in den Bereichen Infrastrukturen und Bürgergesellschaft. Schriftenreihe Sicherheit 19. Freie Universität Berlin: Berlin.
- Deister, Lisa/Fabian Brenne/Antje Stokman/Malte Henrichs/Michael Jeskulke/Holger Hoppe/Mathias Uhl (2016): Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung. Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. SAMUWA-Publikation: Stuttgart.
- Destatis – Statistisches Bundesamt (Hg.) (2019): Statistisches Jahrbuch. Deutsches und Internationales 2019. Statistisches Bundesamt: Wiesbaden.
- Deutschländer, Thomas/Hermann Mächel (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In: Brasseur, Guy P./Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg, 47–56.
- Diepes, Christoph (2017): Klimaschutz und Klimaanpassung in der verbindlichen Bauleitplanung. Dissertation. Rohn: Darmstadt.
- Dierkes, Carsten (2015): Entsiegelung mit wasserdurchlässigen Flächenbelägen - zurück zum natürlichen Wasserkreislauf. IKT-Forum Niederschlagswasser, Vegetation & Infrastruktur 2015.
- DIN 2000:2017-02: Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen.
- DIN 4049-3:1994-10: Hydrologie. Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie.
- DIN EN 1717:2011-08: Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherungseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen; Deutsche Fassung EN 1717:2000; Technische Regel des DVGW.
- DIN EN 752:2017-07: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement.
- DIN EN 805:2000-03: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. Deutsche Fassung EN 805:2000.

-
- DStGB – Deutscher Städte- und Gemeindebund/Difu – Deutsches Institut für Urbanistik (2016): Wasser, Abwasser, Energie - Übergreifende Lösungen und Modellvorhaben zur Integration der Infrastrukturen. Ergebnisse und Erkenntnisse aus der BMBF-Fördermaßnahme INIS.
- DWA-A 138 – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Arbeitsblatt DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser: Hennef.
- DWA-A 272 – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Arbeitsblatt DWA-A 272. Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS). Juni 2014: Hennef.
- DWA-M 550 – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Merkblatt DWA-M 550. Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung. November 2015: Hennef.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2020a): Deutscher Klimaatlas. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html [Stand: 20.05.2020].
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2020b): Wetterlexikon. Klimatologische Kenntage. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101334&lv3=101452> [Stand: 21.10.2020].
- DWD – Deutscher Wetterdienst/SUBV – Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen (2018): Bremen. Bremerhaven. Klimaanpassungsstrategie. Begleitstudie Wetter und Klima im Land Bremen.
- Eisenhardt, Kathleen M. (1989): Building theories from case study research. *Academy of management review* 14 (4), 532–550.
- Fletcher, Mark/Pilar Avello/George Beane/Kieran Birtill/James Bristow/Alexa Bruce/Louise Ellis/Sophie Fisher/Caroline Karmann/Richard Gine/Alejandro Jiménez/James Leten/Kathryn Pharr/Oriana Romano/Iñigo Ruiz-Apilánez/Panchali Saikia/Martin Shouler/Paul Simkims (2019): *The City Water Resilience Approach*.
- Fletcher, Mark/Pilar Avello/George Beane/Kieran Birtill/James Bristow/Alexa Bruce/Louise Ellis/Sophie Fisher/Caroline Karmann/Richard Gine/Alejandro Jiménez/James Leten/Kathryn Pharr/Oriana Romano/Iñigo Ruiz-Apilánez/Panchali Saikia/Martin Shouler/Paul Simkims (o.J.): *Water Resilience Literature Review*.
- Flick, Uwe (2014): *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. 6. Aufl. Rowohlt: Reinbek.
- Frijns, Jos/Chris Büscher/Andrew Segrave/Mariëlle van der Zouwen (2013): Dealing with future challenges: a social learning alliance in the Dutch water sector. *Water Policy* 15 (2), 212–222.
- Füssel, Hans-Martin/Richard J. T. Klein (2006): Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change* 75 (3), 301–329.
- GG – Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. November 2019 (BGBl. I S. 1546) geändert worden ist.

- Gläser, Jochen/Grit Laudel (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 4. Aufl. VS Verlag: Wiesbaden.
- Graaf, Rutger de/Rutger van der Brugge (2010): Transforming water infrastructure by linking water management and urban renewal in Rotterdam. *Technological Forecasting and Social Change* 77 (8), 1282–1291.
- Groth, Markus/Julia Rose (2018): Infrastrukturen (Energie- und Wasserversorgung). In: Storch, Hans von/Insa Meinke/Martin Claussen (Hg.): *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg, 193–208.
- Grünewald, Uwe (2015): Wasserwirtschaftliche Planungen. In: Lecher, Kurt/Hans-Peter Lühr/Ulrich Zanke (Hg.): *Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Grundlagen, Planungen, Maßnahmen*. 9., vollst. überarb. und aktual. Aufl. Springer Vieweg: Wiesbaden, 1205–1261.
- Gstach, Doris (2016): Hitzefrei? Auf der Suche nach der klimaoptimalen Stadtstruktur zwischen Dichte und Durchgrünung. *RaumPlanung* 184 (2), 8–14.
- Hansen, Rieke/Dennis Born/Katharina Lindschulte/Werner Rolf/Robert Bartz/Alice Schröder/Carlo W. Becker/Ingo Kowarik/Stephan Pauleit (2018): *Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung*. BfN-Skripten 503: Bonn-Bad Godesberg.
- Hauck, Markus/Christoph Leuschner/Jürgen Homeier (2019): *Klimawandel und Vegetation. Eine globale Übersicht*. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg.
- Hering, Linda/Robert Jungmann (2019): Einzelfallanalyse. In: Baur, Nina/Jörg Blasius (Hg.): *Handbuch Methoden der Empirischen Sozialforschung*. Springer Vieweg: Wiesbaden, 633–648.
- Hiemstra, Jelle A./Hadas Saaroni/Jorge H. Amorim (2017): The Urban Heat Island: Thermal Comfort and the Role of Urban Greening. In: Pearlmutter, David/Carlo Calfapietra/Roeland Samson/Liz O'Brien/Silvija Krajter Ostoić/Giovanni Sanesi/Rocío Alonso del Amo (Hg.): *The Urban Forest. Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*. Future City, Band 7. Springer International Publishing: Cham, 7–20.
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2018): *Klimawandel in der Zukunft. Klimawandel in Hessen*: Wiesbaden.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019): *Global Warming on 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2014): *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge/New York.

- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2013): Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Cambridge University Press: Cambridge/New York.
- ISB – Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen University (2017): Klima-Check in der Bauleitplanung. Checkliste Klimaschutz und Klimaanpassung (Stand: 02.März 2017).
- Jaag, Christian/Nina Schnyder (2019): Bedeutung des Klimawandels für die Infrastrukturen in der Schweiz. Stand der Literatur.
- Kaiser, Robert (2014): Qualitative Experteninterviews. Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung. Lehrbuch. Springer VS: Wiesbaden.
- Karger, Rosemarie/Frank Hoffmann (2013): Wasserversorgung. Springer Vieweg: Wiesbaden.
- Karthe, Daniel (2014): Bedeutung des Klimawandels und klimatischer Extremereignisse für die Siedlungswasserwirtschaft und Trinkwasserhygiene in Deutschland und Mitteleuropa. Marburger Geographische Schriften (147), 1–20.
- Kemper, Tobias/Robert Riechel/Tobias Schuller (2011): Kommunen im Klimawandel - Wege zur Anpassung.
- Kind, Christian/Katharina Sartison (2017): Wie deutsche Großstädte sich an den Klimawandel anpassen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wie-deutsche-grossstaedte-sich-an-den-klimawandel> [Stand: 06.07.2020].
- Koch, Hagen/Helmut Karl/Michael Kersting/Rainer Lucas/Nicola Werbeck (2017): Infrastrukturen und Dienstleistungen in der Energie- und Wasserversorgung. In: Brasseur, Guy P./Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg, 243–251.
- Kruse, Elke (2015): Integriertes Regenwassermanagement für den wassersensiblen Umbau von Städten. Großräumige Gestaltungsstrategien, Planungsinstrumente und Arbeitsschritte für die Qualifizierung innerstädtischer Bestandsquartiere. Dissertation. Fraunhofer IRB Verl.: Stuttgart.
- Kuhlicke, Christian (2018): Resiliente Stadt. In: Rink, Dieter/Annegret Haase (Hg.): Handbuch Stadtkonzepte. Analysen, Diagnosen, Kritiken und Visionen. Verlag Barbara Budrich: Opladen, Toronto, 359–380.
- Kunz, Michael/Susanna Mohr/Peter C. Werner (2017): Niederschlag. In: Brasseur, Guy P./Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg, 57–66.
- Kuttler, Wilhelm (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. Environmental Sciences Europe 23, 1–15.
- Kuttler, Wilhelm/Jürgen Oßenbrügge/Guido Halbig (2017): Städte. In: Brasseur, Guy P./Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg, 225–234.
- LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2008): Strategie zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in Deutschland.

- Libbe, Jens (2015): Transformation städtischer Infrastruktur. Perspektiven und Elemente eines kommunalen Transformationsmanagements am Beispiel Energie. Dissertation.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2013): Statistische Analyse eines zeitlich und räumlich hochaufgelösten Ensembles regionaler Klimaprojektionen für Baden-Württemberg: Karlsruhe.
- Matern, Antje (2017): Reproduktionen städtischer Räume durch (technische) Infrastrukturen. In: Flitner, Michael/Julia Lossau/Anna-Lisa Müller (Hg.): Infrastrukturen der Stadt. Springer Fachmedien: Wiesbaden, 23–43.
- Matzinger, Andreas/Mathias Riechel/Christian Remy/Hella Schwarzmüller/Pascale Rouault/Marco Schmidt/Martin Offermann/Clemens Strehl/Darla Nickel/Matthias Pallasch/Heiko Sieker/Manfred Köhler/Daniel Kaiser/Constantin Möller/Björn Büter/Dominika Leßmann/Robert von Tils/Lauranne Pille/Andreas Winkler/Hartmut Bartel/Stefan Heise/Bernd Heinzmann/Kay Joswig/Matthias Rehfeld-Klein/Brigitte Reichmann (2019): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Ergebnisse des Projektes Kuras: Berlin.
- Mayring, Philipp (2016): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 6., überarbeitete Auflage. Beltz: Weinheim/Basel.
- Melosi, Martin V. (2008): The sanitary city. Environmental services in urban America from colonial times to the present. Abridged edition. History of the Urban Environment. University of Pittsburgh Press: Pittsburgh, Pennsylvania.
- Mikovits, Christian/Alrun Jasper-Tönnies/Thomas Einfalt/Matthias Huttenlau/Wolfgang Rauch/Manfred Kleidorfer (2015): Klimawandel, Stadtentwicklung und urbane Wasserinfrastrukturplanung – Risiken und Möglichkeiten. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 67 (5-6), 214–221.
- Müller, Anna-Lisa/Julia Lossau/Michael Flitner (2017): Infrastruktur, Stadt und Gesellschaft. Eine Einleitung. In: Flitner, Michael/Julia Lossau/Anna-Lisa Müller (Hg.): Infrastrukturen der Stadt. Springer Fachmedien: Wiesbaden, 1–19.
- Muno, Wolfgang (2009): Fallstudien und die vergleichende Methode. In: Pickel, Susanne/Gert Pickel/Hans-Joachim Lauth/Detlef Jahn (Hg.): Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen. 1. Aufl. VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden, 113–132.
- Murray, Virginia/Gordon McBean/Mihir Bhatt/Sergey Borsch/Tae Sung Cheong/Wadid Fawzy Erian/Silvia Llosa/Farrokh Nadim/Mario Nunez/Ravsal Oyun/Avelino G. Suarez (2012): Case Studies. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, New York, 487–542.

- MVI BW – Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (2012): Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.
- Netsch, Stefan (2015): Stadtplanung. Handbuch und Entwurfshilfe. DOM Publikationen: Berlin.
- NVK – Nachbarschaftsverband Karlsruhe (2013): ExWoSt-Modellvorhaben Innenentwicklung versus Klimakomfort.
- Perini, Katia/Francesca Bazzocchi/Lorenzo Croci/Adriano Magliocco/Enrica Cattaneo (2017): The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energy and Buildings* 143, 35–42.
- Pfoser, Nicole/Nathalie Jenner/Johanna Henrich/Jannik Heusinger/Stephan Weber (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013. Technische Universität Darmstadt: Darmstadt.
- Price, Alexandra/Erick C. Jones/Felicia Jefferson (2015): Vertical Greenery Systems as a Strategy in Urban Heat Island Mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution* 226 (8).
- Reckien, Diana/Monica Salvia/Oliver Heidrich/Jon Marco Church/Filomena Pietrapertosa/Sonia de Gregorio-Hurtado/Valentina D'Alonzo/Aoife Foley/Sofia G. Simoes/Eliška Krkoška Lorencová/Hans Orru/Kati Orru/Anja Wejs/Johannes Flacke/Marta Olazabal/Davide Genelletti/Efrén Feliu/Sergiu Vasile/Cristiana Nador/Anna Krook-Riekkola/Marko Matosović/Paris A. Fokaides/Byron I. Ioannou/Alexandros Flamos/Niki-Artemis Spyridaki/Mario V. Balzan/Orsolya Fülöp/Ivan Paspaldzhiev/Stelios Grafakos/Richard Dawson (2018): How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. *Journal of Cleaner Production* 191, 207–219.
- Reichmann, Brigitte/Diana Nenz/Jan-Hendrik Trapp/Jeremy Anterola/Constantin Möller/Andreas Matzinger/Pascale Rouault/Michel Gunkel (2020): Fokusgebiet Sanierung und Erweiterung einer Kindertagesstätte. Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt: Berlin.
- Reusswig, Fritz A./Carlo W. Becker/Wiebke Lass/Leilah Haag/Jesko Hirschfeld/Antje Knorr/Matthias K. B. Lüdeke/Anna Neuhaus/Christiane Pankoke/Johannes Rupp/Carsten Walther/Susanne Walz/Gregor Weyer/Eva Wiesemann (2016): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin (AFOK). Klimaschutz Teilkonzept. Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Sonderreferat Klimaschutz und Energie (SRKE). Teil I: Hauptbericht: Potsdam/Berlin.
- RL 2007/60/EG: Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (ABl. L 228 S.27-34).
- ROG – Raumordnungsgesetz: Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 15 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.

- Rohlfing, Ingo (2009): Vergleichende Fallanalysen. In: Pickel, Susanne/Gert Pickel/Hans-Joachim Lauth/Detlef Jahn (Hg.): Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen. 1. Aufl. VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden, 133–152.
- Säwert, Katja (2015): Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in der Regionalplanung. Dissertation. HafenCity Universität Hamburg: Hamburg.
- Scheid, Christian/Marc Illgen/Ulla Leinweber (2019): Kommunales Risikomanagement als Beitrag zu einer verbesserten Überflutungsresilienz. In: Institut Wasser Infrastruktur Ressourcen (Hg.): Siedlungswasserwirtschaft 'from K'Town to KOSMOS'. Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt. Schriftenreihe Wasser Infrastruktur Ressourcen, Band 6. Technische Universität Kaiserslautern: Kaiserslautern, 73–88.
- Schmidt, Hauke/Veronika Eyring/Mojib Latif/Diana Rechid/Robert Sausen/Daniela Jacob/Christoph Kottmeier (2017): Globale Sicht des Klimawandels. In: Brasseur, Guy P./Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum: Berlin, Heidelberg, 7–16.
- Schwarz, Tim (2020): Bedeutung informeller Konzepte für die Bauleitplanung. In: Mitschang, Stephan (Hg.): Bauleitplanung in Gebieten nach den §§ 30 und 34 BauGB. Fach- und Rechtsfragen. Berliner Schriften zur Stadt- und Regionalplanung, Band 39. Nomos: Baden-Baden, 127–144.
- SenSU – Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hg.) (2016): Stadtentwicklungsplan Klima. KONKRET. Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt. SenSU: Berlin.
- Stadt Köln/StEB – Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2018): Mehr Grün für ein besseres Klima in Köln. Leitfaden zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen. 1. Aufl...
- Stadt Köln/StEB – Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2017): Leitfaden für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung in Köln. Empfehlungen und Hinweise für eine zukunftsfähige Regenwasserbewirtschaftung und für die Überflutungsvorsorge bei extremen Niederschlagsereignissen.
- Stake, Robert E. (2006): Multiple case study analysis. Guilford Press: New York.
- Statista (2019): Die größten Städte in Deutschland nach Einwohnerzahl zum 31. Dezember 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1353/umfrage/einwohnerzahlen-der-grossstaedte-deutschlands/#professional> [Stand: 06.07.2020].
- Statistisches Landesamt Bremen (2019): Statistisches Jahrbuch 2019: Bremen.
- Steinrücke, Monika (2016): Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung. Anhang 2 zum Klimaschutzteilkonzept "Anpassung an den Klimawandel" für die Stadt Soest: Bochum.
- Stiefel, Rolf (2014): Abwasserrecycling und Regenwassernutzung. Springer Vieweg: Wiesbaden.
- StPLA – Stadtplanungsamt Stadt Karlsruhe (2015): Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung. Anpassungskomplex "Hitze".

-
- SUBV – Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen (2018): Bremen. Bremerhaven. Klimaanpassungsstrategie.
- SUBV – Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen (2015): Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung. Empfehlungen und Hinweise für eine zukunftsfähige Regenwasserbewirtschaftung und eine Überflutungsvorsorge bei extremen Regenereignissen in Bremen.
- Süßbauer, Elisabeth (2016): Klimawandel als widerspenstiges Problem. Springer Fachmedien: Wiesbaden.
- Trapp, Jan Hendrik/Martina Winker (Hg.) (2020): Blau-grün-graue Infrastrukturen vernetzt planen und umsetzen. Ein Beitrag zur Klimaanpassung in Kommunen. Deutsches Institut für Urbanistik: Berlin.
- Tröltzsch, Jenny/Benjamin Görlach/Helen Lückge/Martin Peter/Christian Sartorius (2012): Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Analyse von 28 Anpassungsmaßnahmen in Deutschland. CLIMATE CHANGE 10/2012. Umweltbundesamt: Dessau-Roßlau.
- TUM – Technische Universität München (2018): Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern. Handlungsempfehlungen aus dem Projekt Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt am Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung: München.
- Turowski, Gerd (2005): Raumplanung (Gesamtplanung). In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL) (Hg.): Handwörterbuch der Raumordnung. 4., neu bearb. Aufl. Akademie für Raumforschung und Landesplanung: Hannover, 893–898.
- Ullrich, Carsten G. (1999): Deutungsmusteranalyse und diskursives Interview. Zeitschrift für Soziologie 28 (6), 429–447.
- Urban, Wilhelm/Martin Zimmermann (2015): Wasserversorgung. In: Lecher, Kurt/Hans-Peter Lühr/Ulrich Zanke (Hg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Grundlagen, Planungen, Maßnahmen. 9., vollst. überarb. und aktual. Aufl. Springer Vieweg: Wiesbaden, 853–959.
- van Vuuren, Detlef P./Jae Edmonds/Mikiko Kainuma/Keywan Riahi/Allison Thomson/Kathy Hibbard/George C. Hurtt/Tom Kram/Volker Krey/Jean-Francois Lamarque/Toshihiko Masui/Malte Meinshausen/Nebojsa Nakicenovic/Steven J. Smith/Steven K. Rose (2011): The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change 109 (1-2), 5–31.
- WHG – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist.
- Wilderer, Peter A./Michael van Hauff (2014): Nachhaltige Entwicklung durch Resilienz-Steigerung. In: Hauff, Michael van (Hg.): Nachhaltige Entwicklung. Aus der Perspektive verschiedener Disziplinen. Nachhaltige Entwicklung, Band 6. Nomos: Baden-Baden, 17–40.
- Winker, Martina/Fanny Frick-Trzebitzky/Andreas Matzinger/Engelbert Schramm/Immanuel Stieß (2019): Die Kopplungsmöglichkeiten von grünen, grauen und blauen Infrastrukturen mittels raumbezogener Bausteine. netWORKS-Papers 34. Difu: Berlin.

-
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2020): "Lebenswerte" Straße in resilienten urbanen Quartieren. Projektergebnisse eines Teilprojektes im Gesamtprojekt "Eckpunkte für die Umsetzung einer Landesstrategie zur Klimaanpassung aus wissenschaftlicher Sicht". Wuppertal Reports: Wuppertal.
- Yin, Robert K. (2014): Case study research. Design and methods. 5. Aufl. SAGE: Los Angeles/London/Neu Delhi/Singapur/Washington D.C...
- Zilch, Konrad/Claus Jürgen Diederichs/Rolf Katzenbach/Klaus J. Beckmann (Hg.) (2013): Wasserbau, Siedlungswasserwirtschaft, Abfalltechnik. Springer Vieweg: Berlin/Heidelberg.

Anhang I: Anschreiben für Experteninterviews

Betreff: Expertengespräch Masterthesis zur wasser-resilienten Stadtentwicklung

Sehr geehrter Herr/Frau X,

mein Name ist Christoph Meyer und ich studiere Umweltingenieurwissenschaften an der TU Darmstadt. Zurzeit schreibe ich meine Masterthesis zum Thema „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“.

Für Expertengespräche suche ich interessierte Partner, die in der Stadtentwicklung bzw. bei Betreibern städtischer Wasser-Infrastrukturen tätig sind. Diese Interviews handeln von den Herausforderungen für Stadtentwicklung und Wasserinfrastrukturen durch den Klimawandel sowie Konzepte zur Anpassung der Infrastrukturen an die neuen Rahmenbedingungen. Mit den Expertengesprächen werden die Erkenntnisse aus dem Stand der Forschung und den analysierten Klimaanpassungskonzepten deutscher Städte überprüft. Sie ergänzen und verfeinern den zu erstellenden Leitfaden. Eine kurze Vorstellung meiner Masterthesis sowie Ihres Beitrags und Nutzens finden Sie im Anhang.

Der von mir angedachte Rahmen eines Expertengesprächs sieht wie folgt aus: Ein Expertengespräch dauert ca. 45-60 Minuten; Sie müssen sich nicht speziell vorbereiten. Bevorzugt möchte ich die Gespräche aufzeichnen und anschließend verschriftlichen. Die Transkription würde ich Ihnen zur Durchsicht und Freigabe zukommen lassen und erst im Anschluss nach Ihrer Zustimmung verwenden. Alle Daten und Gesprächsinhalte werden vertraulich behandelt und gehen anonymisiert in die Masterthesis ein. Für den Fall, dass Sie hier ein anderes Vorgehen bevorzugen, können wir auch einen alternativen Weg finden. Die Interviews sollen im Zeitraum vom 24.08.-18.09.2020 stattfinden. Sollte Ihnen dieser Zeitraum ungelegen kommen, suche ich gerne mit Ihnen nach einem alternativen Termin.

Über ein Expertengespräch mit Ihnen würde ich mich sehr freuen – es wäre eine große Unterstützung für die Erstellung meiner Masterthesis und den Leitfaden zur wasser-resilienten Stadtentwicklung.

Wenn Sie der Meinung sind, dass an einem Expertengespräch auch eine Kollegin oder ein Kollege Interesse haben könnten, leiten Sie meine E-Mail gerne weiter. Ich freue mich auf Ihre – hoffentlich – positive Rückmeldung unter den angegebenen Kontaktdaten. Für Rückfragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung,
mit freundlichen Grüßen
Christoph Meyer

Anhang der E-Mail: Kurzvorstellung der Masterthesis

Expertengespräch zur Masterthesis „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“



Christoph Meyer

Masterstudent Umweltingenieurwissenschaften
Technische Universität Darmstadt

Betreuung der Masterthesis

Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke
Kim Nobis, M.Sc.

Fachgebiet Landmanagement, Technische Universität Darmstadt

16.07.2020 | Expertengespräch Masterthesis „Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung“ | Christoph Meyer | Folie 1

landmanagement

Thema der Masterthesis



„Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“

Hohe Relevanz in den kommenden Jahren in allen deutschen Städten

- Neue Herausforderungen: Trockenheit, Hitze, Starkregen
- Sicherstellung der Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Entwässerung zu jedem Zeitpunkt
- Planungen der Stadtentwicklung und Wasser-Infrastrukturen müssen neu gedacht werden, um sich an die Herausforderungen anzupassen und negativen Folgen des Klimawandels entgegen zu wirken.

Ziel der Masterarbeit

- Identifizierung von **Herausforderungen und Lösungsansätzen aus der Praxis**, um einen **allgemeinen Leitfaden für Kommunen** in Deutschland zu erstellen.

Der Leitfaden hilft Kommunen, Herausforderungen in der bestehenden Stadtstruktur zu identifizieren, bietet Orientierung bei Anpassungsmaßnahmen, um Städte weiterhin lebenswert zu erhalten und die sichere Funktionsweise der Wasser-Infrastrukturen zu garantieren.

16.07.2020 | Expertengespräch Masterthesis „Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung“ | Christoph Meyer | Folie 2

landmanagement

Ihre Vorteile und Erkenntnisse



Überblick über den Stand der Forschung

- Hintergründe und Auswirkungen des Klimawandels auf Wasser-Infrastrukturen in Städten
- Merkmale wasser-resilienter Infrastruktur und Maßnahmen, um diese zu erreichen

Analyse bestehender Anpassungskonzepte

- Begutachtung von deutschen Klimaanpassungskonzepten mit unterschiedlichen Schwerpunkten
- Auswertung von Herangehensweisen und ergriffenen Maßnahmen, um die bestehenden Wasser-Infrastrukturen an die Herausforderungen des Klimawandels anzupassen

Handlungsempfehlungen aus dem Leitfaden

- Erkenntnisse aus Forschung, Anpassungskonzepten und Experteninterviews
- Unterstützung bei der Erstellung und Fortschreibung von Konzepten, um Wasser-Infrastrukturen resilient gegen den Klimawandel zu stärken

16.07.2020 | Expertengespräch Masterthesis „Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung“ | Christoph Meyer | Folie 3



Ihr Beitrag



Sie sind **Experte im Bereich XXX** und Ihr **Praxiswissen repräsentiert Herausforderungen und bisherige Lösungsansätze** Ihrer Branche in Ihrer Stadt, die in meine Masterthesis eingehen werden.

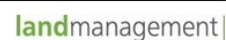
Inhalte des Expertengesprächs (Auswahl)

- Zukünftige Herausforderungen und Auswirkungen des Klimawandels in ihrem Bereich
- Aktuelles Vorgehen und geplante Maßnahmen zur Anpassung der bestehenden Infrastrukturen
- Arbeiten mit Leitbildern und Konzepten

Eckpunkte des Expertengesprächs

- Dauer des Interviews: ca. 45 – 60 Minuten
- Sie müssen sich auf das Gespräch nicht vorbereiten.
- Das Gespräch wird **vertraulich** behandelt und geht **anonymisiert** in die Masterthesis ein.
- Angestrebter Interviewzeitraum: Ende August – Mitte September 2020.
Sollte Ihnen dieser Zeitraum ungelegen sein, suche ich gerne mit Ihnen einen alternativen Termin.

16.07.2020 | Expertengespräch Masterthesis „Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung“ | Christoph Meyer | Folie 4



Anhang II: Einwilligungserklärung zur Teilnahme am Experteninterview

Einwilligungserklärung zur Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Interviewdaten



Thema der Abschlussarbeit: _____
Durchführende Institution: TU Darmstadt, Fachgebiet Landmanagement
Aufgabensteller: Prof. Dr.-Ing. H. J. Linke
Interviewerin/Interviewer: _____
Interviewdatum: _____

Beschreibung des Forschungsprojekts (zutreffendes bitte ankreuzen):

- ☐ mündliche Erläuterung
☐ schriftliche Erläuterung

Die Interviews werden mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und sodann von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Forschungsprojekts in Schriftform gebracht. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung der Interviewtexte werden alle Angaben, die zu einer Identifizierung der Person führen könnten, verändert oder aus dem Text entfernt. In wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden Interviews nur in Ausschnitten zitiert, um gegenüber Dritten sicherzustellen, dass der entstehende Gesamtzusammenhang von Ereignissen nicht zu einer Identifizierung der Person führen kann.

Personenbezogene Kontaktdaten werden von Interviewdaten getrennt für Dritte unzugänglich gespeichert. Nach Beendigung des Forschungsprojekts werden Ihre Kontaktdaten automatisch gelöscht, es sein denn, Sie stimmen einer weiteren Speicherung zur Kontaktmöglichkeit für themenverwandte Forschungsprojekte ausdrücklich zu. Selbstverständlich können Sie einer längeren Speicherung zu jedem Zeitpunkt widersprechen.

Die Teilnahme an den Interviews ist freiwillig. Sie haben zu jeder Zeit die Möglichkeit, ein Interview abzubrechen, weitere Interviews abzulehnen und Ihr Einverständnis in eine Aufzeichnung und Niederschrift des/der Interviews zurückziehen, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen.

Ich bin damit einverstanden, im Rahmen des genannten Forschungsprojekts an einem Interview/ an mehreren Interviews teilzunehmen.

- ☐ ja
☐ nein

Vorname, Nachname in Druckschrift

Ort, Datum / Unterschrift

Die Einwilligungserklärung wurde vom betreuenden Institut zur Verfügung gestellt.

Anhang III: Gesprächsleitfaden der Experteninterviews

Einleitung

1. Vorstellung des Masteranten
2. Vorstellung der Masterthesis und des Ablaufs des Gesprächs
3. Erläuterung der Einwilligungserklärung und der Vorgehensweise zum Datenschutz
4. Vorstellung des Gesprächspartners mit der Bitte, das Unternehmen/die Behörde, die Aufgabenbereiche und Arbeitsschwerpunkte zu erläutern

Hauptteil

1. Herausforderung durch den Klimawandel
 - a. Welches wird die klimatische Hauptherausforderung im Tätigkeitsbereich des Experten sein: Hitze, Trockenheit, Starkregen??
 - b. Wie äußern sich diese Herausforderungen im Alltag? Wie verändern sich Wassermengen durch den Klimawandel?
 - c. Inwiefern sind die Funktionsfähigkeiten der betriebenen Infrastrukturen davon betroffen?
2. Klimaanpassung, Wasser-Resilienz
 - a. Was verstehen Sie unter „Wasser-Resilienz“? Wie wird der Begriff in Ihrem Unternehmen/Ihrer Behörde verwendet?
3. Vorgehensweise zur Klimaanpassung und Erhöhung der Wasser-Resilienz
 - a. Welchen Stellenwert haben Klimaanpassung und Wasser-Resilienz in Ihrem Arbeitsgebiet?
 - b. Wonach werden Sanierungs-, Instandsetzungsmaßnahmen geplant? Sind Klimaanpassung und Wasser-Resilienz ein wichtiger Entscheidungspunkt?
 - c. Wie könnten Klimaanpassung und Wasser-Resilienz bei Ihren Bauprojekten Eingang in die Planung finden? Was sind die Unterschiede zwischen Bestands- und Neubaugebieten?
 - d. Nutzen Sie für Maßnahmen der Klimaanpassung oder zur Erhöhung der Wasser-Resilienz Konzepte oder Arbeitshilfen? Wenn ja, welche sind das?
 - e. Was sind Vorteile von Konzepten und Arbeitshilfen im (Planungs-)Alltag?
 - f. Welche Effekte werden durch den Einsatz von Konzepten und Arbeitshilfen erhofft?
4. Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz
 - a. Welche Bausteine und Maßnahmen verwenden Sie in Ihrem beruflichen Alltag zur Erhöhung der Wasser-Resilienz bzw. Klimaanpassung?
 - b. Meinungsabfrage zu den Einzelmaßnahmen der Masterthesis
 - i. Versickerungsfähige Flächen
 - ii. Multifunktionale Retentionsräume

-
- iii. Entsiegelung und Nutzung wasserdurchlässiger Oberflächen
 - iv. Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen
 - v. Straßenbegleitgrün und begrünte Gleisanlagen
 - vi. Gebäudebegrünung und Begrünung von Innenhöfen
 - vii. Nutzung von Betriebswasser
- c. Wie sollte man diese Einzelmaßnahmen am besten kombinieren? Welche Voraussetzungen gibt es bei der Implementierung in die Praxis?
 - d. Wie überzeuge ich Privateigentümer im Bestand, ihre Grundstücke wasser-resilient anzupassen?
5. Empfehlung für die Erstellung der Arbeitshilfe
- a. Wo kann eine Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“ genutzt werden? Gibt es in Ihrem beruflichen Umfeld Bedarf für diese Arbeitshilfe?
 - b. Wie sieht in Ihren Augen eine gelungene Gliederung der Arbeitshilfe aus?
 - c. Was sind für Sie wichtige Kriterien, damit Sie eine Arbeitshilfe aktiv in Ihrem beruflichen Alltag verwenden?
 - d. Welche Punkte und Schritte würden Sie bei der Erstellung der Arbeitshilfe empfehlen?
 - e. Persönliche Anmerkungen, Erfahrungen und Gedanken, die den Nutzen der Arbeitshilfe erhöhen

Verabschiedung

1. Ausblick auf den weiteren Verlauf der Masterthesis
2. Rückfragen, Organisatorisches über die folgende Transkribierung und Freigabe des Interviewinhalts
3. Bei der Interviewpartnerin*dem Interviewpartner für die Teilnahme am Interview bedanken.

Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“

Ergebnis der Masterthesis
im Studiengang Umweltingenieurwissenschaften an der TU Darmstadt
Christoph Meyer

Betreut durch das Fachgebiet Landmanagement
Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke
Kim Nobis, M.Sc.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

landmanagement

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Hintergrund und Vorgehensweise	3
3. Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz	4
4. Integration der Wasser-Resilienz in die Planung	12
5. Best Practice-Beispiele	14
6. Hinweise zur Nutzung der Arbeitshilfe	16
Bild- und Quellennachweise	16

1. Einleitung

In vielen deutschen Städten sind die Auswirkungen des Klimawandels deutlich spürbar. In den Hitzejahren 2018 und 2019 stiegen Wärme- und Hitzebelastungen infolge der hohen Temperaturen und tropischen Nächte. Diverse Starkregenfälle verursachten große Schäden durch Überschwemmungen. Diese Phänomene werden sich zukünftig weiter verstärken, da die Temperaturen, die Anzahl von Hitzetagen und tropischen Nächten sowie die Häufigkeit von Starkregenfällen voraussichtlich weiter ansteigen werden.

Wasser-resiliente Maßnahmen können die Folgen des Klimawandels nicht verhindern, die Auswirkungen jedoch minimieren. Diese Arbeitshilfe stellt das Konzept der „Wasser-Resilienz“, Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz in städtischen Infrastrukturen sowie deren Nutzen vor. Die Arbeitshilfe unterstützt Planungsprozesse als Ideensammlung und Anregung. Möglichkeiten zur Integration wasser-resilienter Einzelmaßnahmen in Planungen werden vorgestellt. Außerdem zeigen Best Practice-Beispiele, wie die Umsetzung von Einzelmaßnahmen in Planungen gelingen kann.

Die Arbeitshilfe kann Städten als Blaupause für ihre eigenen Arbeitshilfen und Leitfäden dienen und ist deshalb bewusst ohne spezifischen Bezug zu einer Stadt entstanden. Die vorliegende Arbeitshilfe ist das Resultat der Masterthesis „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“, die am Fachgebiet Landmanagement an der TU Darmstadt entstanden ist.

2. Hintergrund und Vorgehensweise

Die Folgen des Klimawandels führen zu steigenden Belastungen durch Trocken- und Hitzeperioden sowie Einschränkungen im Nachgang von Starkregenfällen. Zur Anpassung der bestehenden Infrastrukturen eignen sich Maßnahmen, die die Wasser-Resilienz von Städten erhöhen. Städtische Infrastrukturen sind wasser-resilient, wenn sie unabhängig von Witterungsbedingungen – Trocken-/Hitzeperioden oder Starkregen – ihre Funktionen und Aufgaben erfüllen. Wasser-resiliente Infrastrukturen garantieren eine jederzeit gesicherte Trinkwasserversorgung sowie Abwasserentsorgung und reduzieren durch Verdunstungsprozesse gleichzeitig Wärmebelastungen.

Die vorliegende Arbeitshilfe hat keinen spezifischen Stadtbezug, ist allgemein gehalten und für die Unterstützung von Planungen in Großstädten gedacht. Es wird empfohlen, dass Städte ihre bestehenden Stadtstrukturen auf Hitzebelastungen und Überschwemmungen durch Starkregenfälle analysieren. Auf Grundlage der durch die Analyse erstellten Hitzebelastungs- und Starkregengefahrenkarten können gefährdete Stadtbereiche definiert werden. Die negativen Folgen können bei zukünftigen Planungen durch den Einsatz wasser-resilienter Einzelmaßnahmen abgemildert werden.

Allgemein sind Stadtstrukturen hitze- und starkregengefährdet, die die in Tab. 1 zusammengefassten Charakteristika aufweisen:

Tab. 1: Auswirkungen von städtischen Charakteristika im Klimawandel

hitzegefährdende Strukturen	starkregengefährdende Strukturen
<ul style="list-style-type: none">⊖ Zentrumsbereiche mit hohem Versiegelungsanteil⊖ Stadtteile mit hoher Baudichte, hoher Versiegelung, enger Bauweise⊖ Großstrukturen mit großen Flachdächern und hoher Versiegelung	<ul style="list-style-type: none">⊖ Straßen und Plätze mit hohem Versiegelungsgrad⊖ Abwassersysteme mit Ableitung des anfallenden Niederschlagswassers⊖ tieferliegende Stadtbereiche und Senken
hitzemindernde Strukturen	starkregengeeignete Strukturen
<ul style="list-style-type: none">⊕ viele Grün- und Pflanzenflächen⊕ geringer Versiegelungsanteil⊕ Wasserflächen⊕ Kalt- und Frischluftschneisen	<ul style="list-style-type: none">⊕ große Retentionsräume⊕ Regenwasserbewirtschaftung, sodass wenig Niederschlagswasser abgeleitet wird⊕ überschwemmungssichere Bauweise

3. Einzelmaßnahmen zur Erhöhung der Wasser-Resilienz

Versickerungsfähige Flächen

- ⊕ Entlastung Abwassersysteme, Erhöhung Grundwasserneubildung
- ⊖ Wartungs- und Unterhaltsaufwand

Die Versickerung von Niederschlagswasser ist eine der wirksamsten Methoden zur Entlastung der Abwassersysteme und zur Stärkung des Wasserkreislaufs. Versickerungsanlagen können ober- sowie unterirdisch ausgeführt werden und tragen zur Grundwasserneubildung bei. Versickerungsanlagen stehen in Flächenkonkurrenz zu anderen stadtypischen Nutzungen.

Voraussetzung für die Versickerung ist ein geeigneter und gut durchlässiger Untergrund sowie genügend Abstand zum Grundwasserleiter und zur angrenzenden Bebauung. Es gibt verschiedene Methoden der Versickerung, die sich in der Versickerungsfähigkeit des Bodens und der Flächenverfügbarkeit unterscheiden (vgl. Tab. 2).

Einen direkten Effekt auf Hitzebelastungen haben Versickerungsflächen nur, wenn Wasser an der Erdoberfläche aufgestaut ist und verdunsten kann. Indirekt kann das versickerte Niederschlagswasser wärmereduzierend wirken, wenn es von den Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen und verdunstet wird. Versickerungsfähige Flächen entlasten die Abwassersysteme, da weniger Niederschlagswasser über die Abwassersysteme entwässert werden muss. Versickerungsanlagen können als Retentionsraum wirken und benachbarte Stadtstrukturen vor Überschwemmungen schützen.

Weiterführendes Material

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Arbeitsblatt DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser: Hennef.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Merkblatt DWA-M 550. Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung. November 2015: Hennef.



Abb. 1: Versickerungsmulde in einem Neubaugebiet

Tab. 2: Verschiedene Versickerungsanlagen (DWA-A 138: 26)

Systemkomponenten	
hoch	Versickerung Speicherung Ableitung
Flächenverfügbarkeit	Flächenversickerung
	Muldenversickerung
	Mulden-Rigolen-Element
	Mulden-Rigolen-System
	Rigolenversickerung
	Beckenversickerung
niedrig	groß Versickerungsfähigkeit des Untergrunds niedrig

Multifunktionale Retentionsräume

- ⊕ Entlastung Abwassersysteme, intelligente Flächennutzung
- ⊖ Nutzungseinschränkung durch Verunreinigungen, Wartung- und Unterhaltsaufwand

Multifunktionale Rückhalteräume eignen sich gut in Städten mit hoher Verdichtung. Bei beschränkter Flächenverfügbarkeit eignet sich die Mehrfachnutzung für den gezielten Wasserrückhalt sowie zur Versickerung, Speicherung und Verdunstung des Niederschlagswassers. Weitere Vorteile von multifunktionalen Flächen sind geringe Zusatzkosten. Starkregenfälle können kurzzeitig zu Einschränkungen der eigentlichen Nutzung der Flächen durch den Wassereinstau führen und Verschmutzungen verursachen. Durch multifunktionale Retentionsräume wird die Kanalisation entlastet, wodurch Infrastrukturen vor unkontrollierten Überschwemmungen geschützt werden.

Geeignet sind prinzipiell alle städtischen Flächen, wie Grünanlagen, Freiflächen vor öffentlichen Gebäuden, Parkplätze, Innenhöfe und Straßen. Die Lage der Flächen muss in Abhängigkeit von der Topographie und dem zu schützenden Objekten ausgewählt werden. Des Weiteren lassen sich Planungen gut in Neu- und Sanierungsprojekte integrieren.

Straßen können in Bezug auf die Überflutungsvorsorge im Starkregenfall wichtige Freiräume darstellen, auf denen das anfallende Niederschlagswasser zurückgehalten werden kann. Eine besondere Variante multifunktionaler Rückhalteräume sind sog. Notwasserwege, die Niederschlagswasser schnell und schadlos über vorhandene Straßenflächen oberirdisch auf entfernte Flächen leiten.

Weiterführendes Material

Benden, Jan/Robert Broesi/Marc Illgen/Ulla Leinweber/Gottfried Lennartz/Christian Scheid/Theo G. Schmitt (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation.



Abb. 2: Simulation einer multifunktionalen Retentionsanlage (SUBV 2015: 1)

Entsiegelung und Nutzung wasserdurchlässiger Oberflächenmaterialien

- ⊕ Entlastung Abwassersysteme, Kühlungswirkung
- ⊖ Bodenverunreinigungen müssen ausgeschlossen sein, Nutzungseinschränkungen

Die Folgen des Klimawandels sind insbesondere in Stadtteilen mit hohem Versiegelungsgrad zu erkennen. Die Niederschlagsmenge, die in Abwassersysteme entwässert wird, ist bei versiegelten Flächen höher als bei unversiegelten. Versiegelte Flächen heizen sich bei Sonneneinstrahlung stärker auf und speichern die Wärme länger als unversiegelte Flächen.

Maßnahmen der Entsiegelung entlasten die Abwassersysteme, da weniger Niederschlagswasser die Abwassersysteme belastet. Auf unversiegelten Flächen kann Niederschlagswasser durch Versickerung oder Verdunstung bewirtschaftet werden. Das stärkt den Bodenwasserhaushalt und erhöht die Grundwasserneubildung. Die Entsiegelung von versiegelten Flächen ist außerdem eine Möglichkeit zur Reduktion der Wärmebelastung in bestehenden Infrastrukturen. In neu zu entwickelnden Gebieten soll die zu versiegelnde Fläche grundsätzlich so gering wie nötig gehalten werden.

Ein Kompromiss bei Versiegelungsmaßnahmen ist der Einsatz von wasserdurchlässigen Oberflächenbelegen. Wasserdurchlässige Materialien haben einen geringen Abflussbeiwert. Der Abflussbeiwert ist ein Maß über die Wasserdurchlässigkeit des Materials. Je niedriger dieser liegt, desto mehr Wasser kann im Boden versickern. Ein Abflussbeiwert von 1 bedeutet, dass 100 % des anfallenden Niederschlagswasser von einer Fläche entwässert werden müssen.

Weiterführendes Material

Stadt Köln/Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2018): Mehr Grün für ein besseres Klima in Köln. Leitfaden zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen.

Stadt Karlsruhe (2013): Regen bringt Segen. Versickern statt ableiten. Ein Ratgeber der Stadt Karlsruhe Umwelt- und Arbeitsschutz.



Abb. 3: Feuerwehraufstellfläche aus Rasengittersteinen

Tab. 3: Übersicht verschiedener Abflussbeiwerte (DWA-A 138: 21)

Oberflächenmaterial	Abflussbeiwert
Beton-, Bitumen-, Asphaltflächen	1,0
Pflasterstein (mit Sand verlegt)	0,7
Wassergebundene Flächen	0,5
Gründächer	0,5 bis 0,3
Sportflächen (Rasenfläche und Dränung)	0,3
Rasengittersteine	0,1
Grünflächen, Parkanlagen	0

Sicherung und Entwicklung von Grünanlagen

- ⊕ Reduktion von Hitzebelastungen und Niederschlagsabfluss, erhöhte Aufenthaltsqualität
- ⊖ Flächenkonkurrenz, Bewässerung bei Trockenheit

Grünanlagen erhitzen sich weniger stark als versiegelte Flächen, kühlen nachts stärker ab und umfassen bspw. Parks, Sportflächen oder reine Rasenflächen. Verdunstungseffekte der Pflanzen sorgen für eine Abkühlung in den Grünanlagen, die somit eine höhere Aufenthaltsqualität in der Stadt erhalten und kühlend auf ihre nähere Umgebung wirken. Reine Rasenflächen kühlen die Stadtumgebung weniger als Grünanlagen, bei denen Bäume und Büsche für weitere Verschattungsfläche sorgen. Bei Trockenheitsperioden kann eine Bewässerung vonnöten sein, um die Kühlungseffekte und das Überleben der Pflanzen zu garantieren.

Grünanlagen sichern die Versickerungsleistung des Bodens, wodurch der Wasserhaushalt und die Grundwasserneubildung gestärkt wird. Bei Starkregen können Grünflächen entlastend für die Abwasserkanalisation wirken, wenn die Oberflächenabflüsse auf die Grünflächen und nicht in die Kanalisation geleitet werden. Hierbei ist sicherzustellen, dass das Oberflächenwasser unbelastet von Schadstoffen ist.

Die Sicherung von Grünflächen steht in Flächenkonkurrenz zu Nachverdichtungsprojekten. Dennoch sollte ihre Sicherung und Weiterentwicklung Priorität haben, da eine Bebauung dieser Flächen Überhitzung und eine stärkere Belastung der Abwassersysteme zur Folge hätte. Darüber hinaus haben Stadtgebiete generell eine höhere Lebensqualität, wenn Bewohner schnellen Zugang zu Grünanlagen mit hoher Aufenthaltsqualität haben.

Weiterführendes Material

MBWSV NRW (2014): Urbanes Grün – Konzepte und Instrumente. Leitfaden für Planerinnen und Planer.



Abb. 4: Parkanlage mit Sitzgelegenheiten und Spielplatz



Abb. 5: Rasenfläche, die als Kaltluftschneise wirkt

Straßenbegleitgrün und begrünte Gleisanlagen

- ⊕ Entlastung Abwassersysteme, Reduktion Wärmebelastung, erhöhte Aufenthaltsqualität
- ⊖ Flächenkonkurrenz, Schädigungen durch Wurzelwerk, Bewässerung bei Trockenheit

Für die wasser-resiliente Gestaltung von Verkehrswegen sind begleitende Grünflächen und Bäume am Straßenrand von Bedeutung. Straßennahe Grünflächen können die Verkehrsoberflächen entwässern und zur Versickerung und Verdunstung des anfallenden Wassers beitragen. Durch die Aufnahme von Oberflächenwasser wird die Kanalisation entlastet. Bäume am Straßenrand tragen durch Schattenbildung und Verdunstungseffekte zur Minderung von Wärme- und Hitzebelastungen bei.

Während Trockenperioden kann eine ausreichende Wasserverfügbarkeit für Pflanzen am Straßenrand nicht gewährleistet werden. Der Einsatz von Versickerungsbeeten, sog. Baumrigolen, bei denen Straßenbäume mit darunter liegenden Rigolen kombiniert geplant sind, verlängern die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen, Ein vergrößerter Wurzelraum, der dem Baum zur Verfügung steht, hat vergleichbare Effekte. In Flächenkonkurrenz stehen die beschriebenen Maßnahmen zu Parkplatzflächen und weiteren Leitungsinfrastrukturen, die unterirdisch am Straßenrand verlegt sind und durch das Wurzelwerk geschädigt werden können.

Die Begrünung von Straßenbahngleisen bietet sich in dicht besiedelten Gebieten an, in denen die Straßenbahn auf einem eigenen Gleiskörper fährt. Begrünte Straßenbahngleise heizen sich weniger stark auf und reduzieren den anfallenden Niederschlagsabfluss im Vergleich zu versiegelten Gleisanlagen.

Weiterführendes Material

Benden, Jan/Robert Broesi/Marc Illgen/Ulla Leinweber/Gottfried Lennartz/Christian Scheid/Theo G. Schmitt (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation.

Grüngleis Netzwerk (Hrsg.) (2014): Handbuch Gleisbegrünung. Planung, Ausführung, Pflege.



Abb. 6: Straßenbegleitgrün: Bäume am Straßenrand



Abb. 7: Begrünte Straßenbahngleise in Frankfurt am Main

Gebäudebegrünung und Innenhofgestaltung

- ⊕ Entlastung Abwassersysteme, Reduktion Wärmebelastungen, großes Flächenpotenzial
- ⊖ erhöhte Investitionskosten, Wartungs- und Unterhaltskosten

Der Begriff „Gebäudebegrünung“ bezieht sich auf die Begrünung von Dach- und Fassadenflächen von Bauwerken. Die Begrünung von Hausflächen hat großes Potenzial, da die Nachteile von versiegelten Flächen im Siedlungsbereich durch die Begrünung von Gebäudeflächen ausgeglichen werden. Dachbegrünungen wirken kühlend und verringern den Niederschlagsabfluss. Die Fassadenfläche kann die Dachfläche bei Weitem übersteigen. Insbesondere im Sommer wirkt die Fassadenbegrünung kühlend auf Gebäude, da sie die Gebäudeoberfläche verschattet. Dies erhöht die Aufenthaltsqualität für Bewohner in Innenräumen und minimiert die Wärmebelastung in der Gebäudeumgebung. Bei Trockenheit ist auf eine ausreichend Wasserverfügbarkeit für die Fassadenpflanzen zu achten.

Die Gestaltung von Innen- und Hinterhöfen kann in Stadtstrukturen auch zu einem positiven Mikroklima und einer hohen Aufenthaltsqualität führen. Die Entsiegelung mit gleichzeitiger Begrünung von Innenhöfen erhöht die Verdunstungsrate und entlastet die Abwassersysteme. Begrünte und entsiegelte Innenhöfe stehen in Flächenkonkurrenz zu anderen Nutzungen und sind mit Investitionskosten für Hauseigentümer verbunden. Langfristig können sie die Attraktivität des Wohnumfelds steigern und Zahlungen von Abwassergebühren senken.

Weiterführendes Material

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (2018): Dachbegrünung. Leitfaden zur Planung.

Pfoser, Nicole/Nathalie Jenner/Johanna Henrich/Jannik Heusinger/Stephan Weber (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen.

Stadt Köln/Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2018): Mehr Grün für ein besseres Klima in Köln. Leitfaden zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen.



Abb. 8: Fassadenbegrünung an einem Wohnhaus

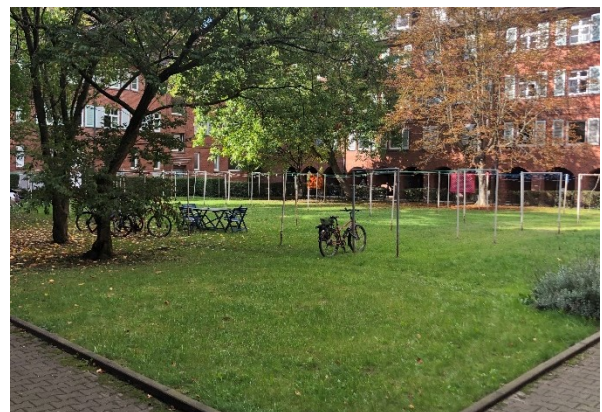


Abb. 9: Begrünter Innenhof in einer Blockrandbebauung

Betriebswassernutzung

- ⊕ reduzierter Trinkwasserbedarf
- ⊖ Investitionskosten, geringe Auswirkung auf Spitzenbedarf

Veränderte Klimabedingungen können zu einer Verknappung von Trinkwasserressourcen und damit zu einer Gefährdung der Trinkwasserversorgung führen. Trinkwasser kann durch die Verwendung von Betriebswasser bei verschiedenen Nutzungen, für die keine Trinkwasserqualität benötigt wird, ersetzt werden. Als Betriebswasser werden bspw. leicht verunreinigtes Dusch- und Badewasser (sog. Grauwasser) oder gesammeltes Niederschlagswasser bezeichnet.

Voraussetzung für die Betriebswassernutzung ist ein separates Leitungsnetz und ein ausreichend dimensionierter Speicher. In diesem wird das Grau- oder Niederschlagswasser gesammelt. Bei der Sammlung von Niederschlagswasser dient der Speicher gleichzeitig der Entlastung der Abwasserinfrastruktur. Niederschlagswasser kann von Dach- oder versiegelten Flächen gespeichert werden. Es muss vor einer Nutzung dem Nutzungszweck entsprechend aufbereitet werden. Nach der entsprechenden Reinigung kann sowohl Grau- als auch Niederschlagswasser im Haushalt (bspw. Toilettenspülung) oder zur Pflanzenbewässerung eingesetzt werden.

Insbesondere die mögliche Nutzung als Bewässerungswasser bietet Potenzial, große Mengen an Trinkwasser im Sommer zu substituieren und garantiert gleichzeitig, dass Pflanzen besser mit Wasser versorgt werden können. Hierdurch kann einerseits die Trinkwasserversorgung teilweise entlastet werden und andererseits das Kühlungspotenzial von Pflanzen ausgeschöpft werden. Die Investitionskosten für ein Betriebswassersystem sind lediglich bei Neuerschließungen und Nachverdichtungsprojekten rentabel. Eine Umrüstung im Bestand ist wirtschaftlich nicht realisierbar.

Weiterführendes Material

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Arbeitsblatt DWA-A 272. Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS).



Abb. 10: Gartenbewässerung mit Betriebswasser



Abb. 11: Kennzeichnung bei Betriebswassernutzung

Wasserflächen

- ⊕ Reduktion Wärmebelastung, Entlastung Abwassersysteme, höhere Aufenthaltsqualität
- ⊖ Flächenkonkurrenz, Wartungs- und Unterhaltskosten, ggf. Elektrizitätsanschluss

Unter der Einzelmaßnahme „Wasserflächen“ sind künstlich angelegte Teiche und Seen sowie offene Wassergräben und kleine Bäche zu verstehen, die im Stadtgebiet angelegt sind. Offene Wasserflächen können in Stadtstrukturen gestaltend wirken und gleichzeitig Folgen des Klimawandels mildern.

Durch die Kontaktfläche zwischen Luft und Wasser können große Wassermengen durch Verdunstung die Umgebungsluft kühlen. Darüber hinaus kann durch Wind die kühle Temperatur, die über der Wasserfläche herrscht, die nähere Umgebung kühlen. Im Starkregenfall bieten offene Wasserflächen Retentionspotenzial und entlasten die Abwasserinfrastruktur. Bewegtes Wasser wie bspw. Springbrunnen oder Wasserzerstäuber haben ebenfalls Abkühlungseffekte, können gestaltend eingesetzt werden und die Aufenthaltsqualität von Plätzen erhöhen.

Weiterführendes Material

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen (2015): Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung. Empfehlungen und Hinweise für eine zukunftsfähige Regenwasserbewirtschaftung und eine Überflutungsvorsorge bei extremen Regenereignissen in Bremen.

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2013): Regenwasserhandbuch. Regenwassermanagement an Hamburger Schulen.



Abb. 12: Künstliche Wasserfläche an der Frankfurter Messe



Abb. 13: Wasserspiele – Brunnen in der Innenstadt

4. Integration der Wasser-Resilienz in die Planung

Informelle (Vor-)Planung

Informelle Planungsrunden integrieren verschiedene Fachplanungen, städtische und weitere interessierte Akteure bei Planungsarbeiten. Sie bieten die Möglichkeit zur situationsgerechten Planung und präzisieren Grundgedanken zu bestimmten Themen. Der Rahmen von informellen Treffen ist inhaltlich und formal flexibel.

Im Hinblick auf das Konzept „Wasser-Resilienz in der Stadtentwicklung“ sind informelle Treffen besonders geeignet, um allen Akteuren Hintergründe des Konzepts und geeignete Maßnahmen zu erläutern. Wasser-resiliente Einzelmaßnahmen können im sog. „Huckepack-Verfahren“ in Planungsabläufe integriert werden. Hierbei werden die Einzelmaßnahmen an geeigneten Stellen in Planungen integriert. Beispielsweise können wasserdurchlässige anstelle von wasserundurchlässigen Oberflächenmaterialien verwendet werden, die ein Kompromiss zwischen Flächenversiegelung und der Schließung des Wasserkreislaufs sein können.

Um den Planungsmehraufwand durch das Konzept „Wasser-Resilienz“ gering zu halten, ist ein frühzeitiges Einbringen des Konzepts in Planungsvorgänge entscheidend. Hierbei kann diese Arbeitshilfe als Ideensammlung unterstützen. Koordinierungsprobleme oder Vorgehensweisen können bei gemeinsamen Planungstreffen direkt angesprochen werden. Synergieeffekte überlagern dabei den vermeintlichen Mehraufwand für die integrativen Planungstreffen.

Städtische Rahmenpläne und Entwicklungskonzepte

Städtische Rahmenpläne sind beschlossene Leitbilder, Ziele und Handlungsprogramme. Sie definieren Ziele und Leitbilder, die in der verbindlichen Planung abzuwägen sind und durch sie rechtsverbindlich werden. Rahmenpläne können auf unterschiedlicher Gebietsebene verwendet werden und das gesamte Stadtgebiet, Stadtquartiere oder Teile dieser umfassen.

Städtische Satzungen

Städtische Satzungen können wasser-resiliente Infrastrukturen fördern. Möglichkeiten sind im Landesbaurecht definiert. Die Wasserdurchlässigkeit von Flächen (vgl. §8 BremLBO) sowie die vollständige Regenwasserbewirtschaftung auf dem Grundstück (vgl. Entwässerungssatzung Karlsruhe) kann bspw. verpflichtend vorgegeben werden. Gesplittete Abwassergebühren, bei der Niederschlagswasser eine deutlich höhere Gebühr als Schmutzwasser hat (vgl. Entwässerungsgebührensatzung Karlsruhe), fördern Umbaumaßnahmen im Bestand, bei denen im Anschluss Niederschlagswasser ortsnah bewirtschaftet werden kann.

Festsetzungsmöglichkeiten in der Bauleitplanung

Die vorgestellten wasser-resilienten Einzelmaßnahmen lassen sich mit den bereits bestehenden Möglichkeiten des Baugesetzbuchs (BauGB) in der formalen Bauleitplanung umsetzen.

Flächennutzungsplan

Tab. 4: Festsetzungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan

Darstellung	Inhalt	Geeignet für
§5 Abs. 2 Nr. 5 BauGB	Grünflächen, Sportanlagen	Grünanlagen
§5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB	Wasserflächen, Überflutungsschutz	Wasserflächen, multifunktionale Retentionsflächen
§5 Abs. 2 Nr. 9b BauGB	Wald	Grünanlagen

Bebauungsplan

Tab. 5: Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan

Darstellung	Inhalt	Geeignet für
§9 Abs. 1 Nr. 3 BauGB	überbaubare Fläche	Innenhofbegrünung
§9 Abs. 1 Nr. 5 BauGB	Sport- und Spielanlagen	Grünanlagen
§9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB	von Bebauung freizuhaltende Flächen	Versickerungsflächen
§9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB	Niederschlagswasserbeseitigung	Versickerungs-, multifunktionale Retentionsflächen
§9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB	Grünflächen	Grünanlagen, multifunktionale Retentionsflächen
§9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB	Wasserflächen	Wasserflächen
§9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB	Natur- und Bodenschutz	Versickerungs-, multifunktionale Retentionsflächen
§9 Abs. 1 Nr. 21 BauGB	Flächen mit Nutzungsrechten zugunsten der Allgemeinheit	multifunktionale Retentionsflächen
§9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB	freizuhaltende Schutzflächen vor schädlichen Umwelteinflüssen	multifunktionale Retentionsflächen
§9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB	Pflanzflächen, Erhalt von Bepflanzung und Gewässern	Gebäudebegrünung

5. Best Practice-Beispiele

Berlin – Sanierung einer Kindertagesstätte

Bei der Sanierung einer bestehenden Kindertagesstätte und der Errichtung eines Erweiterungsbaus wurde ein ökologisches Gesamtkonzept erstellt. Das Gesamtkonzept ist das Ergebnis mehrerer informeller Planungstreffen und untergliedert sich in sechs Arbeitsschritte:

1. Entwicklung gemeinsamer Planungsziele
2. Standortanalyse
3. Auswahl der zu integrierenden Maßnahmen
4. Entwicklung verschiedener Varianten
5. Variantenbewertung
6. Auswahl der Vorzugsvariante

Die Entwicklung eines gemeinsamen Planungsziels war Grundlage bei der Erstellung des Gesamtkonzepts. Die Definition möglicher Planungsziele ist abhängig von den Standorteigenschaften. Deswegen ist eine Standortanalyse zu empfehlen. Im Folgenden integrierten die Akteure verschiedene blau-grün-graue Maßnahmen in die Planung.

Die informelle Vorplanung zwischen den verschiedenen Akteuren ermöglichte ein Sanierungskonzept, das die Schaffung wasser-resilienter Strukturen erlaubt. Die abschließende Planung sieht Dachbegrünungen, Grauwassernutzung, wasserdurchlässige Oberflächenmaterialien, Wasserspielplatz sowie großzügige Grünflächen mit Flächen zur Muldenversickerung vor.

Quelle und weitere Informationen

Reichmann, Brigitte/Diana Nenz/Jan-Hendrik Trapp/Jeremy Anterola/Constantin Möller/Andreas Matzinger/Pascale Rouault/Michel Gunkel (2020): Fokusgebiet Sanierung und Erweiterung einer Kindertagesstätte. Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt.

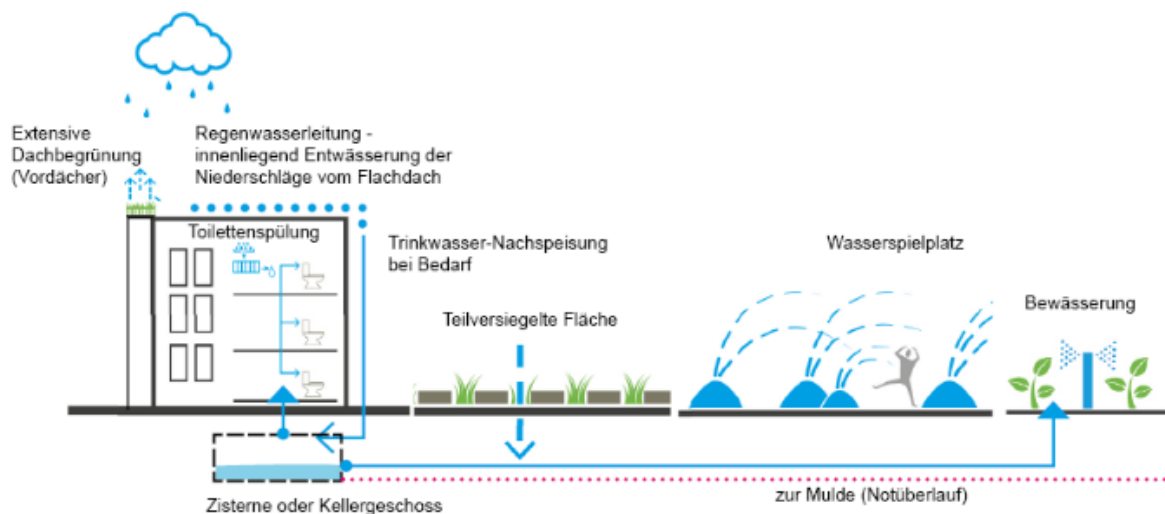


Abb. 14: Darstellung des finalen Planungskonzepts mit wasser-resilienten Elementen (Reichmann et al. 2020: 51)

Karlsruhe – KIT-Campus Süd

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) plant den Campus Süd auf einer Entwicklungsfläche. Die 30.800 m²-große Fläche umfasst teilweise den bestehenden Botanischen Garten und eine Brachfläche. Für das Bebauungskonzept wurden mehrere Ziele definiert: kein Niederschlagsabfluss von dem zu entwickelten Gebiet in das Abwassersystem, Förderung von Verdunstung zur Hitzeabmilderung, Erhöhung der Aufenthaltsqualität durch Grünflächen. Generell eignet sich der Karlsruher Boden gut für Versickerungsmaßnahmen.

Der Bebauungsplan ist das Resultat mehrerer informaler Planungstreffen, bei denen wasser-resiliente Strukturen für das Vorhaben entwickelt wurden. Das Bebauungskonzept umfasst multifunktionale Retentionsflächen, Baumrigolen und Versickerungsbeete, Gründächer sowie versickerungsfähige Grünanlagen. Das Konzept garantiert die vollständige Regenwasserbewirtschaftung bis zu einem Niederschlag von 100 mm und reduziert die Hitzebelastungen durch den großen Grünanteil im Bebauungsgebiet.

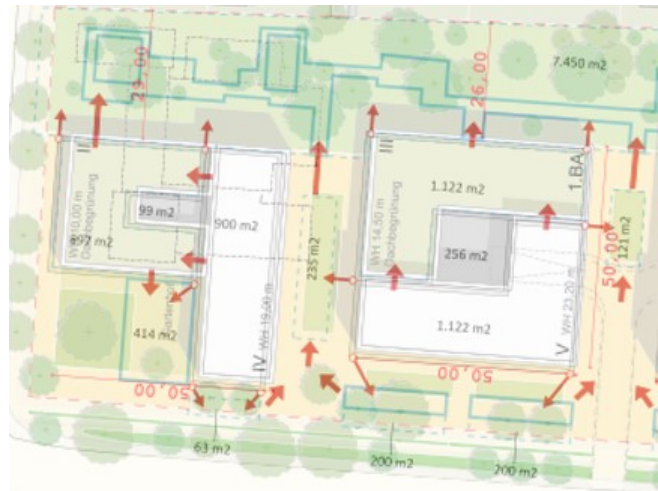


Abb. 15: Gebäude- und Entwässerungsplanung
(Benden et al. 2017: 69/71)

Quelle und weitere Informationen

Benden, Jan/Robert Broesi/Marc Illgen/Ulla Leinweber/Gottfried Lennartz/Christian Scheid/Theo G. Schmitt (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation. S. 68ff.



Abb. 16: Versickerungswirkung der multifunktionalen Retentionsfläche (Benden et al. 2017: 70)

6. Hinweise zur Nutzung der Arbeitshilfe

Die vorliegende Arbeitshilfe ist eine allgemeine Grundlage für Städte und Kommunen, die eigene Leitfäden, Merkblätter, Arbeitshilfen oder Ähnliches erstellen wollen. Entscheidend für eine wirkungsvolle Anwendung werden die Klimaanalysen in den Städten sein. Insbesondere Bereiche mit hohen Hitze- und Starkregenbelastungen können durch die Anwendung der hier vorgestellten Einzelmaßnahmen entlastet werden. Punktuelle Entlastungen werden sich bei konsequenter Anwendung auf die Gesamtstadt positiv auswirken können. Außerdem wird empfohlen, die hier gegebenen Best Practice-Beispiele durch mehrere, lokale Beispiele zu ersetzen. Hierbei sollten vor allem lokale Umsetzungen der Einzelmaßnahmen und dazugehörige Ansprechpartner im Vordergrund stehen.

Die Arbeitshilfe „Wasser-resiliente Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels“ ist das Ergebnis der gleichnamigen Masterthesis von Christoph Meyer, die 2020 am Fachgebiet Landmanagement der TU Darmstadt erstellt wurde. In der Komplettfassung der Masterthesis werden die Hintergründe zum Klimawandel, die vorgestellten Einzelmaßnahmen, die analysierten Best Practice-Beispiele sowie die Erkenntnisse aus Gesprächen, die mit sechs Experten geführt worden sind, ausführlich dargestellt. Insbesondere die Einzelmaßnahmen werden in der Komplettfassung der Masterthesis in ihrem Hintergrund detaillierter beleuchtet.

Bild- und Quellennachweise

- Seite 4: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Arbeitsblatt DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. S. 26.
- Seite 5: SUBV – Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen (2015): Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung. S. 1.
- Seite 6: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Arbeitsblatt DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. S. 21.
- Seite 14: Reichmann et al. (2020): Fokusgebiet Sanierung und Erweiterung einer Kindertagesstätte. Arbeitshilfe für die Planung blau-grün-grau gekoppelter Infrastrukturen in der wassersensiblen Stadt. S. 51.
- Seite 15: Benden et al. (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation. S. 69-71.